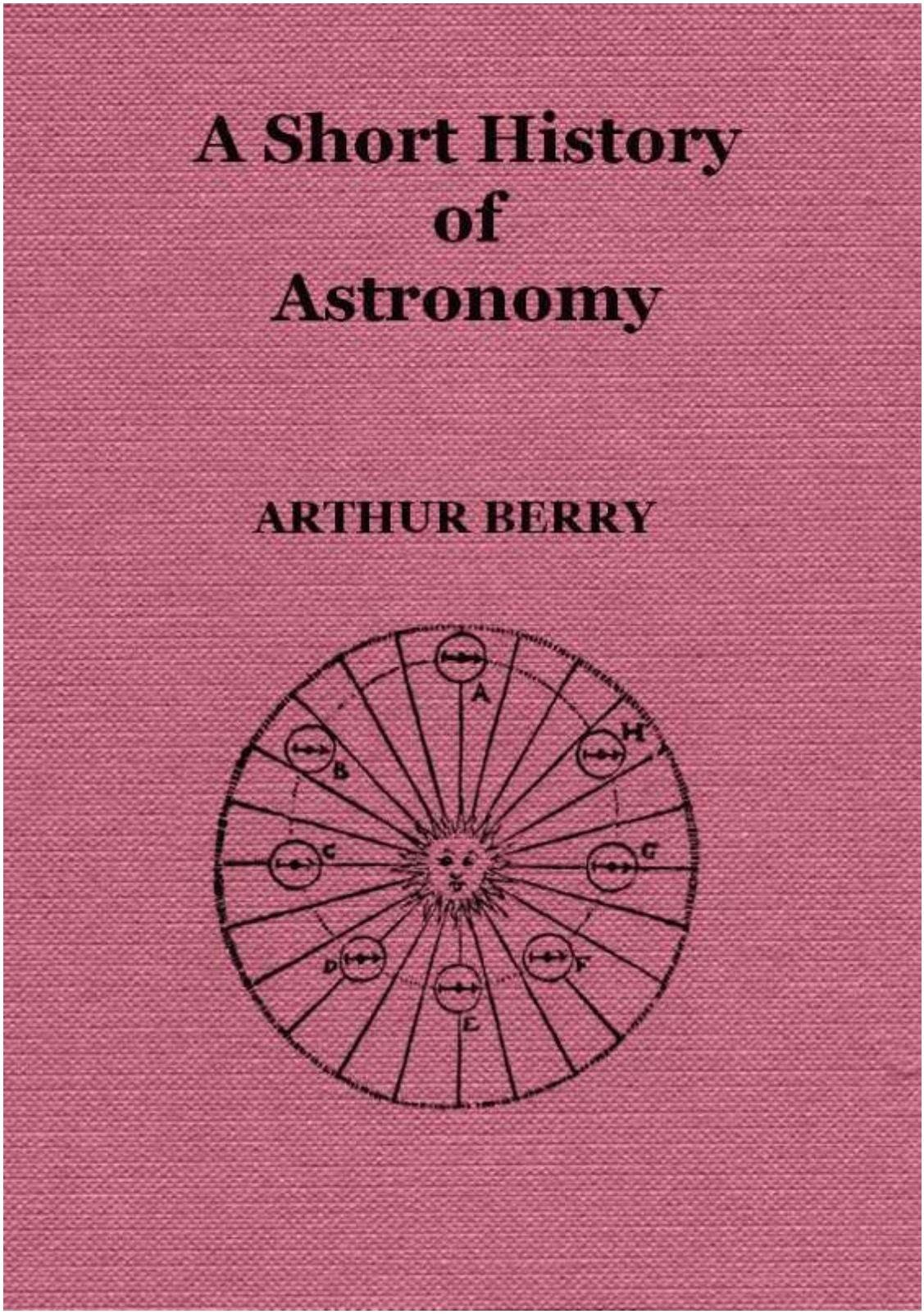
Краткая история астрономии

Артур Берри



Электронная книга проекта Гутенберга по краткой истории астрономии

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Краткая история астрономии

Автор: Артур Берри

Дата выхода: 5 апреля 2019 [Электронная книга № 59212]

Язык: Английский

Кредиты: Подготовлено deaurider, Лесом Галлоуэем и командой онлайн-корректоров по адресу http://www.pgdp.net (Этот файл создан на основе изображений, щедро предоставленных интернет-архивом)

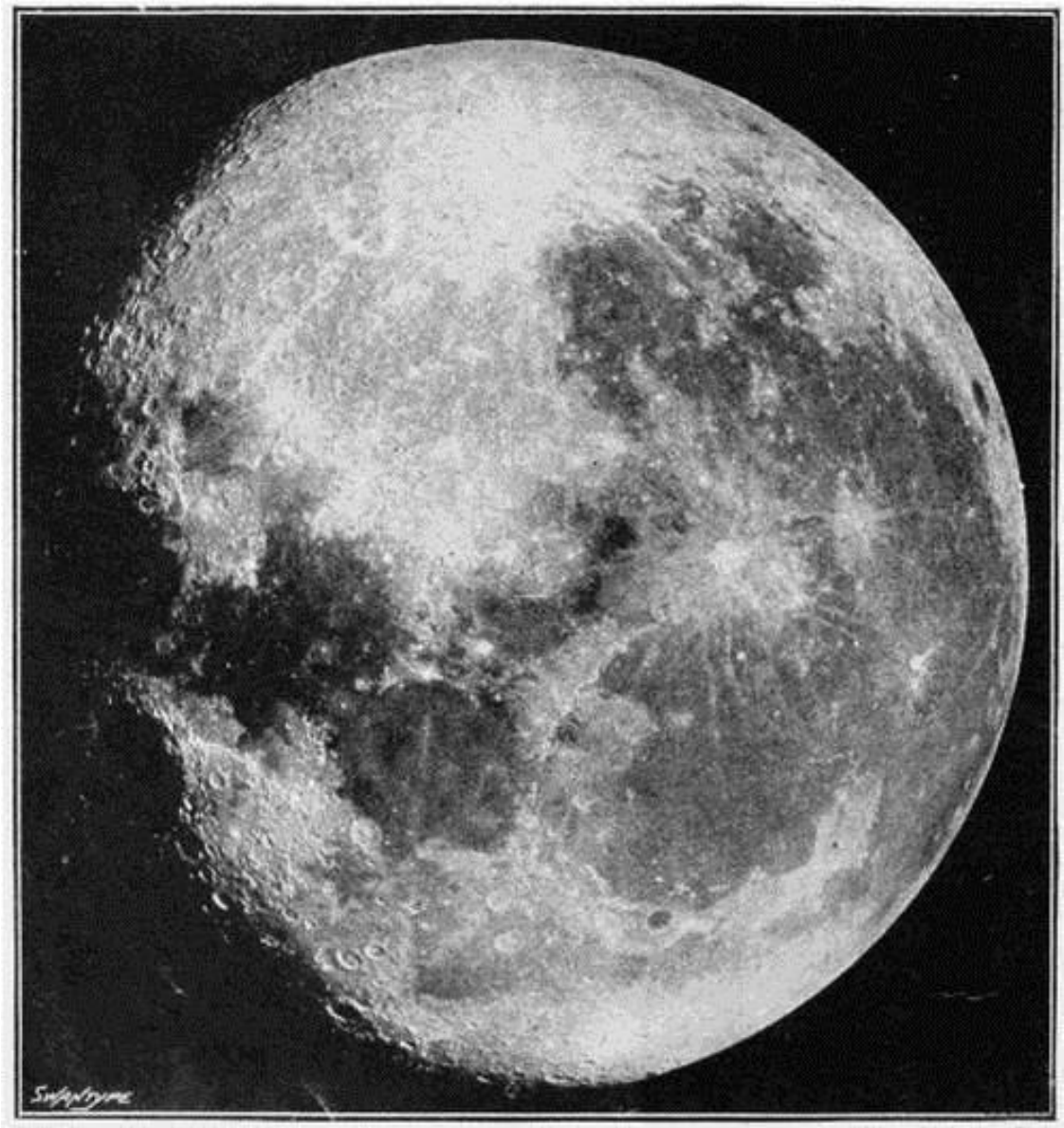
*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "КРАТКАЯ ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ " ***

Примечания переписчика

Очевидные опечатки были исправлены автоматически. Варианты расстановки переносов стандартизированы, но вся остальная орфография и пунктуация остаются неизменными.

Аналогичные пометки в оглавлении и иллюстрациях заменены текстом. Пустые страницы и их номера опущены.

Обложка создана автором и находится в общественном достоянии.



Луна. С фотографии, сделанной в обсерватории Лик.

УНИВЕРСИТЕТСКАЯ СЕРИЯ

Краткая история астрономии

Автор: АРТУР БЕРРИ, МАГИСТР,
НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК И АССИСТЕНТ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ КОРОЛЕВСКОГО КОЛЛЕДЖА В КЕМБРИДЖЕ;
НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК УНИВЕРСИТЕТСКОГО КОЛЛЕДЖА В ЛОНДОНЕ

Вагнер. Verzeiht! es ist ein gross Ergetzen

Sich in den Geist der Zeiten zu versetzen.

Zu schauen wie vor uns ein weiser Mann gebracht,

Und wie wir's dann zuletzt so herrlich weit gebracht.

Фауст. O ja, bis an die Sterne weit!

Goethe's *Faust*.

НЬЮ-ЙОРК
СЫНОВЬЯ ЧАРЛЬЗА СКРИБНЕРА
1899

ПРЕДИСЛОВИЕ.

В этой книге я попытался в общих чертах изложить историю астрономии с древнейших исторических времен до наших дней и представить ее в форме, которая будет понятна читателю, не обладающему специальными знаниями ни в астрономии, ни в математике, а обладающему способностью обычного образованного человека следовать научным рассуждениям.

Для достижения моей цели в рамках одного небольшого тома было необходимо уделить строжайшее внимание сжатию; это было достигнуто в некоторой степени за счет опущения всего, кроме самого скудного, освещения нескольких разделов предмета, которые заняли бы видное место в книге, написанной по другому плану или в другом масштабе. Я намеренно воздержался от какого-либо связного описания астрономии египтян, халдеев, китайцев и других народов, которым обычно приписывают раннее развитие астрономии. С одной стороны, мне кажется невозможным сформировать независимое мнение по этому вопросу, не ознакомившись из первых рук с документами и надписями, из которых почерпнута наша информация; а с другой, различные ученые-востоковеды, обладающие этими знаниями, все еще настолько сильно отличаются друг от друга в своих интерпретациях, что представляется преждевременным воплощать их результаты в догматической форме учебника. Также мне показалось целесообразным облегчить книгу, опустив — за исключением очень немногих простых и важных случаев — все описания астрономических инструментов; я не помню, чтобы когда-либо получал какое-либо удовольствие или пользу от письменного описания научного инструмента до того, как увидел сам инструмент или что-то очень похожее на него, и я воздержался от попыток дать моим читателям то, чего мне никогда не удавалось получить самому. Цель книги также потребовала опустить ряд важных астрономических открытий, которые находят свое естественное выражение в техническом языке математики. По этой причине я смог лишь в самом кратком и самом общем виде описать замечательную и прекраснейшую надстройку, которую несколько поколений математиков воздвигли на фундаменте, заложенном Ньютоном. По той же причине я был вынужден иногда занимать много места, излагая на обычном английском языке то, что могло бы быть выражено гораздо короче и

яснее алгебраической формулой: для тех математиков, которые, возможно, случайно прочтут книгу, я добавил несколько математических сносок; в остальном я старался скрупулезно воздерживаться от использования какой-либо математики, кроме простой арифметики и нескольких технических терминов, которые объясняются в тексте. Значительный объем места был также сэкономлен полным пропуском или максимально краткой ссылкой на очень большое количество астрономических фактов, которые не имеют отношения ни к какой устоявшейся общей теории; и по аналогичным причинам я обычно воздерживался от упоминания спекулятивных теорий, которые еще не были установлены или опровергнуты. В частности, по этим и другим причинам (более подробно изложенным в начале главы XIII) я как можно короче остановился на огромной массе наблюдений, которые накопила современная астрономия; например, было бы легко заполнить один или несколько томов описанием наблюдений солнечных пятен, сделанных за последние полвека, и теорий, основанных на них, но фактически я посвятил этому предмету всего одну-две страницы.

Я приводил краткие биографические очерки ведущих астрономов (кроме ныне живущих), когда только имелся материал, и пытался таким образом сделать их личности и окружение достаточно яркими; но я пытался противостоять искушению заполнить пространство просто живописными деталями, не имеющими реального отношения к научному прогрессу. Суд над матерью Кеплера по обвинению в колдовстве, вероятно, столь же интересен, как суд над Галилеем перед инквизицией, но я полностью опустил первое и уделил много места второму, потому что, в то время как первое представляло в основном любопытный интерес, последнее представлялось мне не просто поразительным инцидентом в жизни великого астронома, но и частью истории астрономической мысли. Я также вставил большое количество дат, поскольку они занимают очень мало места и могут быть сочтены полезными некоторыми читателями, в то время как другие могут с легкостью проигнорировать их; для облегчения справки даты рождения и смерти (если они известны) всех известных астрономов, упомянутых в книге (кроме ныне живущих), были внесены в Указатель имен.

Я не постеснялся уделить много места описаниям таких устаревших теорий, которые, как мне казалось, составляют неотъемлемую часть астрономического прогресса. Одна из причин, по которой историю науки стоит изучать, заключается в том, что она проливает свет на процессы, посредством которых научная теория формируется для объяснения определенных фактов, а затем претерпевает последовательные модификации по мере того, как к ней постепенно предъявляются новые факты, и, возможно, окончательно отбрасывается, когда ее расхождения с фактами уже невозможно объяснить или скрыть. Например, ни одному современному астроному как таковому нет необходимости интересоваться греческой схемой эпициклов, но история ее изобретения, ее постепенного совершенствования по мере получения новых наблюдений, ее последующей неспособности выдержать более строгие проверки и окончательного отказа от нее в пользу более удовлетворительной теории, я думаю, является ценным и интересным наглядным уроком научного метода. Во всяком случае, я написал эту книгу с таким убеждением и во многом с этой точки зрения решил, что опустить, а что включить.

Книга не претендует на то, чтобы быть оригинальным вкладом в изучение предмета; она написана в основном по источникам из вторых рук, многие из которых, однако, не очень доступны широкому читателю. Подробная информация об использованных органах власти приведена в приложении.

Остается с благодарностью признать помощь, которую я получил в своей работе. Мистер У. У. Роуз Болл, преподаватель Тринити—колледжа, чьи обширные знания истории математики — предмета, очень тесно связанного с астрономией, - сделали его критические замечания особенно ценными, былдостаточно любезен, чтобы прочитать корректуры, и тем самым спас меня от нескольких ошибок; он также предоставил мне ценную информацию относительно портретов астрономов. Мисс Х. М. Джонсон взяла на себя кропотливую работу по прочтению всей книги в рукописи, а также в корректуре и проверке перекрестных ссылок. Мисс Ф. Хардкасл из Гертон-колледжа также прочитала корректуры и проверила большинство числовых расчетов, а также перекрестные ссылки. Обоим я обязан обнаружением большого количества неясностей в выражениях, а также канцелярских и других ошибок и опечаток. Мисс Джонсон также сэкономила мне много времени, составив Указатель имен, а мисс Хардкасл оказала мне еще одну ценную услугу, нарисовав значительное количество диаграмм. Я также в долгу перед мистером К. Э. Инглисом из этого колледжа за рис. 81; и я должен поблагодарить мистера У. Х. Уэсли из Королевского астрономического общества за различные ссылки на литературу по этому предмету и, в частности, за помощь в получении доступа к различным иллюстрациям.

Я также в долгу перед следующими организациями и отдельными астрономами за разрешение воспроизвести фотографии и рисунки, а в некоторых случаях также за дарение копий оригиналов: Советом Королевского астрономического общества, Советом Королевского астрономического общества, директором обсерватории Лик, директором Военно-географического института Флоренции, профессором Барнардом, майором Дарвином, доктором Джиллом, М. Янссеном, М. Лоуи, мистером Э. В. Маундером, мистером Х. Пейном, профессором Э. К. Пикерингом, доктором Шустером, доктором Максом Вольфом. Janssen, M. Loewy, мистером Э. В. Маундером, мистером Х. Пейном, профессором Э. К. Пикерингом, доктором Шустером, доктором Максом Вольфом.

АРТУР БЕРРИ.

Королевский колледж, Кембридж

Содержание.

		СТРАНИЦА
	Предисловия	v
	ГЛАВА I.	
	Первобытная астрономия, §§ 1-18	1-20
§ 1.	Область применения астрономии	1
§§ 2-5.	Первые понятия: движение солнца: движение и *фазы* Луны: суточное движение звезд	1
§ 6.	Прогресс, достигнутый ранними	3

цивилизованными народами: египтянами, китайцами, индийцами и халдеями

§ 7. *Небесная сфера*: ее научная ценность: *видимое расстояние* между звездами: измерение *углов* 4

§§ 8-9. Вращение небесной сферы: *северный* и *Южный полюсы*: *суточное движение*: *небесный экватор*: *циркумполярные звезды* 7

§§ 10-11. The *Годовое движение* солнца: *большие круги*: *эклиптика* и ее *наклон*: *равноденствия* и *точки равноденствия*: *солнцестояния* и *точки солнцестояния* 8

§§ 12-13. *Созвездия*: *зодиак*, *знаки зодиака* и *зодиакальные созвездия*: *первая точка Овна* (♈ и *первая точка Весов* (♎ 12

§ 14. Пять *планет*: *прямое* и *ретроградное* движения: *стационарные точки* 14

§ 15. Порядок близости планет: *затемнения*: *высшие* и *низшие* планеты 15

§ 16. Измерение времени: сутки и их деление на часы: *лунный месяц*: год: неделя 17

§ 17. *Затмения*: *сарос* 19

§ 18. Расцвет *астрологии* 20

ГЛАВА II.

Греческая астрономия (примерно с 600 г. до н.э. по 400 г. н. э.), §§ 19-54 21-75

§§ 19-20. **Астрономия до времен Аристотеля.** Греческий календарь: *полные* и *пустые* месяцы: *восьмилетний период*: *цикл Метона* 21

§ 21. Римский календарь: введение *Юлианского календаря* 22

§ 22. *Григорианский календарь* 23

§ 23. Раннегреческая спекулятивная астрономия: *Фалес* и *Пифагор*: сферическая форма земли: небесные сферы: *музыка сфер* 24

§ 24. *Филолай* и другие пифагорейцы: первые верующие в движение земли: *Аристарх* и *Селевк* 25

§ 25. *Платон*: равномерные круговые и сферические движения 26

§ 26. *Евдокс*: представление небесных движений комбинациями сфер: описание созвездий. *Каллипп* 27

§§ 27-30. *Аристотель*: его сферы: фазы Луны: доказательства сферичности земли: его аргументы против движения земли: относительные расстояния небесных тел: другие предположения: оценка его астрономической работы 29

§§ 31-2. **Ранняя александрийская школа**: ее расцвет: Аристарх: его оценки расстояний до солнца и Луны. Наблюдения *Тимохариса* и *Аристилла* 34

§§ 33-4. Развитие *сфер*: *феномены Евклида*: *горизонт*, *зенит*, *полюса* большого круга, *вертикали*, *круги склонения*, *меридиан*, *небесная широта* и *долгота*, *прямое восхождение* и *склонение*. Солнечные часы 36

§ 35. Разделение поверхности земли на зоны 37

§ 36. *Эратосфен*: его измерение земли: и наклона эклиптики 39

§ 37. **Гиппарх**: его жизнь и главный вклад в астрономию. *Аполлоний* изображал небесные движения с помощью кругов. Общее изложение теории эксцентриситетов и эпициклов 40

§§ 38-9. Представление Гиппарха о движении солнца посредством *эксцентриситета*: *апогей*, *перигей*, *линия апсид*, *эксцентриситет*: *уравнение центра*: *эпицикл* и *деферент* 41

§ 40. Теория луны: *лунный день* или *синодический месяц* и *звездный месяц*: движение *узлов* и апсид Луны: *драконидский месяц* и *аномальный* 47

месяц

§ 41. Наблюдения планет: метод определения расстояний между Солнцем и Луной по затмению: оценка их расстояний 49

§ 42. Его звездный каталог. Открытие *прецессии равноденствий*: *тропический год* и *звездный год* 51

§ 43. Затмения солнца и Луны: *соединение* и *противостояние*: *частичные*, *полныеикольцевые* затмения: *параллакс* 56

§ 44. Оценка Гиппарха Деламбром 61

§ 45. Медленный прогресс астрономии после времен Гиппарха: *доказательство* Плиния о том, что земля круглая: новые измерения земли, проведенные *Посидонием* 61

§ 46. **Птолемей.** *Альмагест* и *оптика*: теория*преломления* 62

§ 47. Изложение *Альмагеста*: Постулаты Птолемея: аргументы против движения земли 63

§ 48. Теория Луны: *изгнание* и *прозрение* 65

§ 49. The *Астролябия*. Параллакс и расстояния от солнца и Луны 67

§ 50. Звездный каталог: прецессия 68

§ 51. Теория планет: *равенство* 69

§ 52. Оценка Птолемея 73

§ 53. Упадок древней астрономии: *Теон* и *Гипатия* 73

§ 54. Краткое изложение и оценка греческой астрономии 74

ГЛАВА III.

Средние века (примерно с 600 г. н.э. по 1500 г. н.э.), §§ 55-69 76-91

§ 55. Медленное развитие астрономии в этот период 76

§ 56. **Восток.** Формирование астрономической школы при дворе 76

халифов: возрождение астрологии: переводы с греческого *Хонейна бен Исхака*, *Исхака бен Хонейна*, *Табита бен Коррыи* других

§§ 57-8. Багдадская обсерватория. Измерение положения Земли. Исправления астрономических данных греков: *трепет* 78

§ 59. *Альбатегний*: открытие движения солнца в апогее 79

§ 60. *Абул Вафа*: предполагаемое открытие *изменения* положения Луны. *Ибн Юнос*: *Хакемитские таблицы* 79

§ 61. Развитие астрономии в магометанских владениях Марокко и Испании: *Арзахель*: *толетанские таблицы* 80

§ 62. *Нассир Эддин* и его школа: *Ильханические таблицы*: более точное значение прецессии 81

§ 63. Татарская астрономия: *Улугбек*: его звездный каталог 82

§ 64. Оценка восточной астрономии этого периода: Арабские цифры: остатки арабских названий звезд и астрономических терминов: *надир* 82

§ 65. **Запад.** Общий застой после падения Римской империи: *Беда*. Возрождение образования при дворе Карла Великого: *Алкуин* 83

§ 66. Влияние магометанской учености: *Герберт*: переводы с арабского: *Платон из Тиволи*, *Ательяр из Бата*, *Герардо из Кремоны*. *Альфонсо X.* и его школа: *таблицы Альфонсина* и *Библиотеки Сабера* 84

§ 67. Схоласты тринадцатого века, *Альбертус Великий*, *Чекко д'Асколи*, *Роджер Бэкон*. *Sacrobosco's Sphaera Mundi* 85

§ 68. *Пурбах* и *Региомонтанус*: влияние греческих авторов-оригиналов: Нюрнбергская школа: *Вальтер*: 86

книгопечатание: конфликт между взглядами Аристотеля и Птолемея: небесные сферы средневековья: *небесный свод* и *primum mobile*

§ 69. *Лионардо да Винчи*: *земное сияние*. *Фракастор* и *Апиан*: наблюдения за кометами. *Nonius*. *Измерение земли*Фернелем 90

ГЛАВА IV.

Копперник (с 1473 по 1543 год н.э.), §§ 70-92 92-124

§ 70. Возрождение обучения 92

§§ 71-4. Жизнь *Копперника*: развитие его идей: публикация *Commentariolus*: *Reticus* и *Prima Narratio*: публикация *De Revolutionibus* 93

§ 75. Центральная идея в творчестве Копперника: связь с более ранними авторами 99

§§ 76-9. В **Революция**. *Первая книга*: постулаты: принцип *относительного движения*с приложениями к видимому годовому движению солнца и к суточному движению небесной сферы 100

§ 80. Два движения земли: ответы на возражения 105

§ 81. Движение планет 106

§ 82. Времена года 108

§ 83. Конец первой книги.*Вторая книга*: уменьшение наклона эклиптики: звездный каталог 110

§ 84. *Третья книга*: прецессия 110

§ 85. *Третья книга*: годовое движение Земли: *афелий* и *перигелий*. *The Четвертая книга*: теория Луны: расстояния Солнца и луны: затмения 111

§§ 86-7. The *Пятый* и *шестая* книга: теория планет: *синодические* и *звездные периоды* 112

§ 88. Объяснение неподвижных точек 118

§§ 89-90. Подробная теория планет: недостатки теории 121
§ 91. Использование Копперником эпициклов 122
§ 92. Трудность в его системе 123

ГЛАВА V.

Восприятие теории Копперника и прогресс наблюдений (примерно с 1543 г. н.э. примерно до 1601 г. н.э.), §§ 93-112 125-144
§§ 93-4. Первое восприятие *De Revolutionibus*: *Рейнхольд*: *прусские таблицы* 125
§ 95. Копперниканство в Англии: *Филд*, *Запись*, *Диггес* 127
§ 96. Трудности в системе Копперника: необходимость прогресса в динамике и свежих наблюдений 127
§§ 97-8. Кассельская обсерватория: ландграф *Вильгельм IV.*, *Ротманн* и *Бурги*: звездный каталог: изобретение Бурги маятниковых часов 128
§ 99. **Тихо Браге**: его ранняя жизнь 130
§ 100. Новая звезда 1572 года: путешествия по Германии 131
§§ 101-2. Его заведение в Хвене: Ураниборг и Стернеборг: жизнь и работа в Хвене 132
§ 103. Комета 1577 года и другие 135
§ 104. Книги о новой звезде и комете 1577 года 136
§ 105. Система мира Тихо: ссора с *Реймерсом Бэром* 136
§ 106. Последние годы в Хвине: разрыв с королем 138
§ 107. Публикация *Astronomiae Instauratae Mechanica* и звездного каталога: приглашение от Император 139
§ 108. Жизнь в Бенатеке: сотрудничество Кеплера: смерть 140
§ 109. Судьба инструментов и наблюдений Тихо 141
§ 110. Оценка работы Тихо: точность его наблюдений: улучшения в искусстве наблюдения 141

§ 111. Улучшенные значения астрономических констант. Теория Луны: *вариация* и *годовое уравнение* 143

§ 112. Звездный каталог: отказ от трепета: незаконченная работа над планетами 144

ГЛАВА VI.

Галилей (с 1564 г. н.э. по 1642 г. н.э.), §§ 113 .

Ранняя жизнь145 145-178 145

§ 114. Маятник 146

§ 115. Переход от медицины к математике: его первая книга 146

§ 116. Профессорство в Pisa: эксперименты с падающими телами: протесты против принципа авторитета .

Профессорство в Пизе: эксперименты с падающими телами: протесты против принципа авторитета. Падуя: принятие взглядов Копперника 148

§ 118. **Открытия с помощью телескопа.** Изобретение телескопа *Липперсхаймом*: его применение к астрономии *Хэрриотом*, *Саймоном Мариусом*и Галилеем 149

§ 119. *Сидереус Нунций*: наблюдения Луны 150

§ 120. Новые звезды: разрешение участков Млечного Пути 151

§ 121. Открытие *спутников*Юпитера: их значение для спора о Копернике: противоречия 151

§ 122. Назначение при тосканском дворе 153

§ 123. Наблюдения Сатурна. Открытие фаз Венеры 154

§ 124. Наблюдения *за*солнечными пятнами*Фабрициусом, Хэрриотом,*Шайнером*и Галилеем:*Макки Солари*: доказательство того, что пятна не были планетами: наблюдения за*тенью*и* полутенью

.Ссора с Шайнером и иезуитами: Письмо великой герцогине Кристине*157* § 126

богословские споры:
.Визит в Рим..... ..... Первое осуждение: запрещение книг Коперника 159
§ 127. Метод определения долготы. Споры о кометах: *Саджиаторе* 160
§ 128. **Диалог о двух главных системах мира.** Его подготовка и публикация 162
§ 129. Докладчики: аргументы в пользу системы Коперника, основанные на телескопических открытиях: обсуждение звездного параллакса: *дифференциальный метод определения параллакса* 163
§ 130. Динамические аргументы в пользу движения Земли: *первый закон движения*. Приливы и отливы 165
§ 131. **Суд и осуждение.** Тонко завуалированное коперниканство *диалога*: замечательное предисловие 168
§ 132. Вызов в Рим: суд инквизиции: осуждение, отречение и наказание: запрет *диалога* 169
§ 133. Последние годы: жизнь в Арчетри: *либрация* Луны: *две новые науки*: *равномерное ускорение*и первый закон движения. Слепота и смерть 172
§ 134. Оценка работы Галилея: его научный метод 176

ГЛАВА VII.

Кеплер (с 1571 г. по 1630 г. н.э.), §§ 135-1751 179-197
§ 135. Ранняя жизнь и богословские исследования 179
§ 136. Чтение лекций по математике в Граце: астрономические исследования и спекуляции:*Mysterium Cosmographicum* 180
§ 137. Религиозные проблемы в Штирии: работа с Тихо 181
§ 138. Назначение императором Рудольф как преемник Тихо: труды о новой звезде 182

1604 года и об оптике: теория преломления и новый вид телескопа

§ 139. Изучение движения Марса: безуспешные попытки его объяснить 183

§§ 140-1. The *Эллипс*: открытие первых двух из *законов Кеплера* для случая Марса: *комментарии к Марсу* 184

§ 142. Предлагается распространить законы Кеплера на другие планеты 186

§ 143. Отречение и смерть Рудольфа: назначение в Линц 188

§ 144. *Гармония мира*: открытие *Третьего закона Кеплера*: “ музыка сфер” 188

§ 145. *Воплощение астрономии Коперника*: ее запрет: причудливая коррекция расстояния до солнца: наблюдение за *короной* 191

§ 146. Трактат о *кометах* 193

§ 147. Религиозные беспорядки в Линце: переезд в Ульм 194

§ 148. *Таблицы Рудольфина* 194

§ 149. Работа под руководством Валленштейна: смерть 195

§ 150. Второстепенные открытия: размышления о гравитации 195

§ 151. Оценка работы и интеллектуального характера Кеплера 197

. ГЛАВА VIII.

От Галилея до Ньютона (примерно с 1638 г. н.э. примерно до 1687 г. н.э.), §§ 152-163 198-209

§ 152. Общий характер астрономического прогресса в период 198

§ 153. Наблюдения Шейнера за *факелами* на солнце. *Хевель*: его *Селенография* и его труды о кометах: его звездный каталог. *Новый Альмагест Риччоли* 198

§ 154. Наблюдения планет; *Гюйгенс* открыл спутник Сатурна и его кольцо 199

§ 155. *Гаскойн* и *Озу* изобрели *микрометр*: *телескопические “прицелы”*Пикара 202

§ 156. *Хоррокс*: распространение теории Кеплера на Луну: наблюдение за прохождение Венеры 202

§§ 157-8. Повторное открытие Гюйгенсом маятниковых часов: его теория кругового движения 203

§ 159. Измерения земли *Снеллом*, *Норвудоми* Пикардом 204

§ 160. Парижская обсерватория: *Доменико Кассини*: его открытия четырех новых спутников Сатурна: его другая работа 204

§ 161. *Экспедиция* Экспедиция Ричера в Кайенну: наблюдения маятника: противоположные наблюдения Марса: *горизонтальный параллакс*: *годовой* или *звездный параллакс* 205

§ 162. *Ремер* и скорость света 208

§ 163. *Декарт* 208

ГЛАВА IX.

Всемирное тяготение (с 1643 г. по 1727 г. н.э.), §§§ 164-164 210-246

§ 164. Разделение *жизни*Ньютона на три периода 210

§ 165. Ранняя жизнь, с 1643 по 1665 год 210

§ 166. Великий производительный период, 1665-87 211

§ 167. 211

§ 168. Оптические открытия: *телескопы-рефлекторы грегори* и Ньютона: *спектр* 211

§ 169. Описание ньютоном своих открытий в 1665-6 гг. 212

§ 170. Начало его работы по гравитации: падающее яблоко: предыдущие работы по этой теме Кеплера,*Бореллии* Гюйгенса 213

§ 171. Проблема кругового движения: *ускорение* 214

§ 172. The *Закон обратных квадратов*, 215

полученный из Третьего закона Кеплера для планетных орбит, рассматриваемых как окружности

§ 173. Распространение земного притяжения на Луну: несовершенство теории 217

§ 174. *Рассуждения*Хука*и*Рена о движении планет и гравитации. Второе вычисление Ньютоном движения Луны: согласие с наблюдением 221

§ 175-6. Решение проблемы эллиптического движения: *Halley's*Галлея к Ньютону, 221

§ 177. Презентация Королевскому обществу трактата *о Моту*: публикация *Принципов* 222

§ 178. ,,**Принципы**: их подразделения 223

§§ 179-80. The *Законы движения*: первый закон: ускорение в его общей форме: *масса* и *сила*: третий закон 223

§ 181. Закон *всемирного тяготения* провозглашенный 227

§ 182. Притяжение сферы 228

§ 183. Общая проблема учета движений солнечной системы с помощью силы тяжести и законов движения: *возмущения* 229

§ 184. Лунная теория Ньютона 230

§ 185. Измерение массы планеты с помощью притяжения ее спутников 231

§ 186. Движение солнца: *центр тяжести* солнечной системы: теория относительности 231

§ 187. Несферическая форма земли и Юпитера 233

§ 188. Объяснение прецессии 234

§ 189. Приливы и отливы: масса Луны, полученная из наблюдений за приливами 235

§ 190. Движения комет: *параболические* орбиты 237

§ 191. Прием *основы* 239

§ 192. Третий период Ньютона жизни, 1687-1727: Парламентская карьера: совершенствование теории Луны: встречи на монетном дворе и вывоз в Лондон: публикации *оптика* и второго и третьего изданий *"принципы математики"*, под ред. *кот* и Пембертон: смерть 240

§ 193. Расчеты Ньютона произведение Лейбница, Лагранжа, и сам 241

§ 194. Сравнение его астрономические работы с деятельностью его предшественников: “объяснение” и “описание”: концепция материальный мир состоит из тел привлечение друга по определенным законам 242

§ 195. Научный метод Ньютона: “*гипотез не финго*” 245

глава X.

астрономии в XVIII веке §§ 196-227 247-286

§ 196. *Гравитационной астрономии*: его развитие объясняется почти исключительно континентальный астрономы: использование *анализа*: английский наблюдательной астрономии 247

§§ 197-8. *Фламстид*: основания Гринвичской обсерватории: его звездный каталог 249

§ 199. **Халли**: каталог южных звезд 253

§ 200. Комета Галлея 253

§ 201. *Вековое ускорение среднего движения Луны* 254

§ 202. Транзиты Венеры 254

§ 203. *Собственные движения* неподвижных звезд 255

§§ 204-5. Лунно-планетной таблицах: карьера в Гринвиче: мелкие работы 255

§ 206. **Брэдли**: карьера 257

§§ 207-11. Открытие и объяснение *аберрации*: на *постоянной аберрации* 258

§ 212. Невозможность обнаружить параллакс 265
§§ 213-5. Открытию *нутации*: *Мачин* 265
§§ 216-7. Таблицы спутников Юпитера Брэдли и *Варджентина*: определение долгот и другие работы 269
§ 218. Его наблюдения: *сокращение* 271
§ 219. Плотность земли: *Маскелайн*: *эксперимент Кавендиша* 273
§ 220. The *Школа*Кассини-Маральди во Франции 275
§ 221. Измерения Земли: лапландская и перуанская дуги: *Мопертюи* 275
§§ 222-4. *Лакай*: его карьера: экспедиция на Мыс: звездные каталоги и другие работы 279
§§ 225-6. *Тобиас Майер*: его наблюдения: лунные таблицы: приз за долготу 282
§ 227. Прохождение Венеры в 1761 и 1769 годах: расстояние до Солнца 284

ГЛАВА XI.

Гравитационная астрономия в восемнадцатом веке,§§ 228-250 287-322
§ 228. Проблема Ньютона: *проблема трех тел*: методы приближения: *лунная теория* и *планетарная теория* 287
§ 229. Прогресс ньютоновских принципов во Франции: популяризация Вольтером. Пять великих математических астрономов: превосходство Франции 290
§ 230. *Эйлер*: его карьера: Санкт-Петербург и Берлин: объем его работ 291
§ 231. *Клеро*: фигура земли: возвращение кометы Галлея 293
§ 232. *Д'Аламбер*: его динамика: прецессия и нутация: его универсальность: соперничество с Клеро 295
§§§ 233-4. Лунные теории и лунные таблицы Эйлера, Клеро и Д'Аламбера: развитие лунной теории Ньютона 297
§ 235. Планетарная теория: определение Клеро масс Луны и Венеры: *Лаланд* 299

§ 236. Планетарная теория Эйлера: метод *изменения элементов* или *параметров* 301

§ 237. *Лагранж*: его карьера: Берлин и Париж:*Аналитическая механика* 304

§ 238. *Лаплас*: его карьера: *Механика Селеста* и *система мира*: политические назначения и отличия 306

§ 239. Прогресс, достигнутый Лагранжем и Лапласом в работе их непосредственных предшественников 308

§ 240. Объяснение Лапласом векового ускорения Луны 308

§ 241. Лаплас лунная теория: таблицы *Бюрга* и *Буркхардта* 309

§ 242. *Периодические* и *вековые* неравенства 310

§ 243. Объяснение взаимного возмущения Юпитера и Сатурна: *длинные неравенства* 312

§§ 244-5. Теоремы о*стабильности* солнечной системы: *фонд эксцентриситета* и *фонд наклона* 313

§ 246. Величины некоторых вековых неравенств 318

§ 247. Периодические неравенства: таблицы солнца и планет *Механика Селеста* 318

§ 248. Второстепенные проблемы гравитационной астрономии: спутники: Кольцо Сатурна: прецессия и нутация: фигура земли: приливы: кометы: массы планет и спутников 318

§ 249. Решение проблемы Ньютона астрономами восемнадцатого века 319

§ 250. The *Небулярная гипотеза*: ее спекулятивный характер 320

ГЛАВА XII.

Гершель (с 1738 г. по 1822 г. н.э.), §§ 251-271 323-353

§§ 251-2. Ранняя карьера Уильяма Гершеля: Бат: его первый телескоп 323

§§ 253-4. Открытие планеты Уран и его 325

последствия: переезд Гершеля в Слау
§ 255. Изготовление телескопа: брак: сорокафутовый телескоп: открытия спутников Сатурна и Урана 327
§ 256. Жизнь и работа в Слау: последние годы: *Кэролайн Гершель* 328
§ 257. Астрономическая программа Гершеля: изучение неподвижных звезд 330
§ 258. Распределение звезд в космосе: *звездометрия*: теория вселенной “точильного камня”: недостатки фундаментального предположения: его частичный отказ. Использование яркости в качестве критерия близости: измерение яркости: “проникающая в космос” способность телескопа 332
§ 259. *Туманности* и *звездные скопления*: большие каталоги Гершеля 336
§ 260. Связь туманностей со звездными скоплениями: теория туманностей “островной вселенной”: теория “сияющей жидкости”: распределение туманностей 337
§ 261. Уплотнение туманностей в скопления и звезды 339
§ 262. Неразрешимость Млечного Пути 340
§ 263. *Двойные звезды*: их предполагаемое применение для нахождения параллакса: каталоги: вероятная связь между членами пары 341
§ 264. Открытия революции двойных звезд: *двойные звезды*: их бесполезность для определения параллакса 343
§ 265. Движение солнца в пространстве: различные положения, предложенные для*вершины* 344
§ 266. Переменные звезды: *Мира* и *Алгол*: каталоги сравнительной яркости: метод *последовательностей*: изменчивость α *Геркулеса* 346
§ 267. Работы Гершеля о Солнечной системе: новые спутники: наблюдения Сатурна, Юпитера, Венеры и Марса 348

§ 268. Наблюдения солнца:*Уилсон*: теория строения солнца 350
§ 269. Предположительная изменчивость Солнца 351
§ 270. Другие исследования 352
§ 271. Сравнение Гершеля с его современниками: *Шретер* 352

ГЛАВА XIII.

Девятнадцатый век, §§ 272-320 354-409
§ 272. Три основных раздела астрономии: *наблюдательный*, *гравитационный* и *описательный* 354
§ 273. Великий рост описательной астрономии в девятнадцатом веке 355
§ 274. **Наблюдательная астрономия.** Инструментальные достижения: внедрение фотографии 357
§ 275. Метод *наименьших квадратов*: *Лежандр* и *Гаусс* 357
§ 276. Другая работа Гаусса: *Теория Движения*: повторное открытие малой планеты Церера 358

§ 277. *Бессель*: его усовершенствование методов уменьшения: его таблица преломления: *Фундамента Новой Звезды* и *Таблиц Региомонтана* 359
§ 278. Параллакс звезды 61 *Лебедя*: расстояние до нее 360
§ 279. *Хендерсона* параллакс α *Центавра* и *Струве*.,, *Вега*: более поздние определения параллакса 362
§ 280. Звездные каталоги: фотографическая карта 362
§§ 281-4. Расстояние до солнца: транзиты Венеры: наблюдения Марса и противоположных малых планет:*суточный метод*: гравитационные методы, лунные и планетарные: методы, основанные на скорости света: краткое изложение 363

результатов

§ 285. Изменение широты: жесткость земли 367

§ 286. **Гравитационная астрономия.** Лунная теория: *Дамуазо*, *Пуассон*, *Понтекулан*, *Лаббок*, *Хансен*, *Делоне*, профессор *Ньюкомб*, *Адамс*, доктор *Хилл* 367

§ 287. Вековое ускорение среднего движения Луны: поправка Адамса к Лапласу: объяснение Делоне с помощью *приливного трения* 369

§ 288. Планетарная теория: *Леверье*, *Гильден*, М. *Пуанкаре* 370

§ 289. Открытие Нептуна Леверье и доктором *Галле*: работа Адамса 371

§ 290. Таблицы Луны и планет: выдающиеся расхождения между теорией и наблюдениями 372

§ 291. Кометные орбиты: возвращение кометы Галлея в 1835 году: комета Энке и другие периодические кометы 372

§ 292. Теория приливов: анализ наблюдений за приливами Лаббоком, *Уэвеллом*, Лордом *Кельвин* и профессор *Дарвин*: физические приливы и отливы на земле и ее жесткость 373

§ 293. Стабильность солнечной системы 374

§ 294. **Описательная астрономия.** Открытие *малых планет* или *астероидов*: их количество, распределение и размер 376

§ 295. Открытия спутников Нептуна, Сатурна, Урана, Марса и Юпитера, а также *крепового кольца* Сатурна 380

§ 296. Поверхность Луны: *ручейки*: лунная атмосфера 382

§ 297. Поверхности Марса, Юпитера и Сатурна: *каналы* на Марсе: теория колец Сатурна Максвелла: вращение Меркурия и Венеры 383

§ 298. Поверхность солнца: *Schwabe's* discovery of the periodicity of sun-spots: connection between sun-spots and 385

terrestrial magnetism: *Carrington's*.....

§§ 299-300. *Спектральный анализ*: Ньютон, *Волластон*, *Фраунгофер*, *Кирхгоф*: химия солнца 386

§ 301. ,, Затмения Солнца солнце: *корона*, *хромосфера* и *протуберанцы*: спектроскопические методы наблюдения 389

§ 302. Спектроскопический метод определения движения к наблюдателю или от него: *принцип Доплера*: применение к Солнцу 391

§ 303. Строение солнца 392

§§ 304-5. Наблюдения комет: *ядро*: теория образования их хвостов: их спектры: связь между кометами и *метеорами* 393

§§ 306-8. Звездная астрономия: карьера *Джона Гершеля*: его каталоги туманностей и двойных звезд: экспедиция на Мыс: измерение солнечного тепла Гершелем и *Пуйе* 396

§ 309. Двойные звезды: наблюдения Струве и других: орбиты двойных звезд 398

§ 310. Телескопы*Лорда*Россе: его наблюдения туманностей: возрождение теории "островной вселенной" 400

§ 311. Применение спектроскопа к туманностям: различие между туманностями и скоплениями 401

§ 312. Спектроскопическая классификация звезд по *Секки*: химический состав звезд: звезды со спектрами ярких линий 401

§§ 313-4. Движение звезд в поле зрения. Обнаружение двойных звезд с помощью спектроскопа: теория затмений переменных звезд 402

§ 315. Наблюдения переменных звезд 403

§ 316. Звездная *фотометрия*: *коэффициент освещенности* Коэффициент освещенности Погсона: Оксфордская, Гарвардская и потсдамская фотометрии 403

§ 317. Структура звездной системы: соотношения звезд и туманностей 405

§§ 318-20. Небулярная гипотеза Лапласа в свете более поздних открытий: солнечное тепло: *Helmholtz's* теория сжатия Гельмгольца. Влияние приливного трения на развитие солнечной системы: теория профессора Дарвина о рождении Луны. Краткое содержание 406

Список авторитетных источников и книг для студентов 411

Именной указатель 417

Общий указатель 425

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ.

РИС.		СТРАНИЦА
	Луной	*Фронтиспис*
1.	Небесная сфера	5
2.	Суточные пути циркумполярных звезд	*К лицу с.* 8
3.	Круги небесной сферы	9
4.	Экватор и эклиптика	11
5.	Большая Медведица	*Лицом к лицу, стр.* 12
6.	Видимый путь Юпитера	16
7.	Видимый путь Меркурия	17
8-11.	Фазы луны	30, 31
12.	Кривизна земли	32
13.	Метод Аристарха для сравнения расстояний до солнца и Луны	34
14.	Экватор и эклиптика	36
15.	Экватор, горизонт и меридиан	38
16.	Измерение земли	39
17.	Чудак	44
18.	Положение солнца в апогее	45
19.	Эпицикл и деферент	47
20.	Метод затмения, соединяющий расстояния Солнца и Луны	50

21.	Увеличение долготы звезды	52
22.	Движение экватора	53
23,	24. Прецессия равноденствий	53, 54
25.	Тень земли	57
26.	Эклиптика и путь Луны	57
27.	Солнце и луна	58
28.	Частичное затмение Луны	58
29.	Полное лунное затмение	58
30.	Кольцевое затмение солнца	59
31.	Параллакс	60
32.	Преломление в атмосфере	63
33.	Параллакс	68
34.	Эпицикл Юпитера и деферент	70
35.	Равный	71
36.	Небесные сферы	89
	Портрет Копперника	*лицом к лицу, стр.*94
37.	Относительное движение	102
38.	Относительное движение солнца и Луны	103
39.	Суточный оборот земли	104
40.	Солнечная система согласно Коппернику	107
41,	42. Объяснение времен года по- копперникански	108, 109
43.	Орбиты Венеры и Земли	113
44.	Синодический и звездный периоды Венеры	114
45.	Эпицикл Юпитера	116
46.	Относительные размеры орбит Земли и высшей планеты	117
47.	Неподвижные точки Меркурия	119
48.	Неподвижные точки Юпитера	120
49.	Изменение видимого положения планеты из-за изменения расстояния Земли от Солнца	122
50.	Звездный параллакс	124
51.	Ураниборг	133
52.	Система мира Тихо	137
	Портрет Тихо Браге	*Лицом к лицу, стр.*139
53.	Один из рисунков Галилея, изображающий Луну	*лицом к с.*150
54.	Юпитер и его спутники 7 января 1610 г.	152

55.	Солнечные пятна	*лицом к с.*154
56.	Доказательство Галилея, что солнечные пятна не являются планетами	156
57.	Дифференциальный метод параллакса	165
	Портрет Галилея	*лицом к лицу с.*171
58.	Ежедневное вращение Луны	173
	Портрет Кеплера	*лицом к лицу, стр.*183
59.	Эллипс	185
60.	Второй закон Кеплера	186
61.	Диаграмма, используемая Кеплером для установления его законов движения планет	187
62.	“Музыка сфер” согласно Кеплеру	190
63.	Идея Кеплера о гравитации	196
64.	Кольцо Сатурна, нарисованное Гюйгенсом	*лицом к стр.* 200
65.	Сатурн, с кольцом, рассматриваемым по краям,	*лицом к стр.*200
66.	Фазы кольца Сатурна	201
67.	Ранние рисунки Сатурна	*лицом к лицу с.*202
68.	Марс в оппозиции	206
69.	Параллакс планеты	206
70.	Движение по кругу	214
71.	Луна как снаряд	220
72.	Сфероидальная форма земли	234
73.	Вытянутый эллипс и парабола	238
	Портрет Ньютона	*лицом к лицу, стр.*240
	Портрет Брэдли	*Лицом к лицу, стр.*258
74. 75.	Аберрация света	262, 263
76.	Аберрационный эллипс	264
77.	Прецессия и нутация	268
78.	Изменяющаяся кривизна земли	277
79.	Карта Луны Тобиаса Майера	*лицом к лицу, стр.*282
80.	Путь кометы Галлея	294
81.	Изменяющийся эллипс	303
	Портрет Лагранжа	*Лицом к стр.*305
	Портрет Лапласа	*Лицом к стр.*307

	Портрет Уильяма Гершеля	*Лицом к стр.*327
82.	Сорокафутовый телескоп Гершеля	329
83.	Секция звездной системы	333
84.	Иллюстрирующий влияние движения Солнца в пространстве	345
85.	*61 Лебедь* и две соседние звезды, использованные Бесселем	360
86.	Параллакс *61 Лебедя*	361
87.	Путь кометы Галлея	373
88.	Фотографический след малой планеты	*К лицу с.*377
89.	Пути малых планет	378
90.	Сравнительные размеры трех малых планет и Луны	379
91.	Сатурн и его система	380
92.	Марс и его спутники	381
93.	Юпитер и его спутники	382
94.	Апеннины и прилегающие области Луны	*Лицом к стр.*383
95.	Сатурн и его кольца	*Лицом к стр.*384
96.	Группа солнечных пятен	*Лицом к стр.*385
97.	Карта солнечного спектра Фраунгофера	*Лицом к стр.*387
98.	Полное солнечное затмение 1886 г.	*К лицу с.*390
99.	Великая комета 1882 года, с которой	*столкнется, стр.*393
100.	Туманность около *Аргуса*	*Лицом к лицу с.*397
101.	Орбита ξ *Медведицы*	399
102.	Спиральные туманности	*Обращены к стр.*400
103.	Спектр β *Душицы*	*К лицу с.*403
104.	Млечный Путь вблизи скопления в Персее	*Лицом к лицу с.*405

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ.

ГЛАВА I.
ПЕРВОБЫТНАЯ АСТРОНОМИЯ.

“Никогда не устающее Солнце, Луна совершенно круглая,

И все те Звезды, которыми увенчаны чела обширных небес,

Орион, все Плеяды и те семь, что достались Атласу,

Близкие сияющие Гиады, Медведь, прозванный Колесницей,

Который вращается вокруг небесной оси, не сводит с опи постоянного взгляда

На Орионе и на всех закатах неба

Его золотой лоб никогда не склоняется перед океанской империей.

"Илиада" (перевод Чепмена).

1. Астрономия - это наука, которая изучает солнце, луну, звезды и другие объекты, такие как кометы, которые можно увидеть в небе. В некоторой степени это касается и земли, но только в той мере, в какой она имеет общие свойства с небесными телами. В ранние времена астрономия почти полностью изучала наблюдаемые движения небесных тел. На более позднем этапе астрономы смогли определить расстояния и размеры многих небесных тел и взвесить некоторые из них; а совсем недавно они приобрели значительный объем знаний об их природе и материале, из которого они сделаны.

2. Мы ничего не знаем о зарождении астрономии и можем только догадываться, как некоторые из более простых фактов науки — особенно те, которые оказывают непосредственное влияние на человеческую жизнь и комфорт — постепенно стали знакомы древнему человечеству, почти так же, как они знакомы современным дикарям.

С этих фактов удобно начать, расположив их в том порядке, в котором они наиболее легко представляются любому обычному наблюдателю.

3. Ежедневно видно, как солнце восходит в восточной части неба, путешествует по небу, достигает своего наивысшего положения на юге в середине дня, затем опускается и, наконец, заходит в западной части неба. Но его ежедневный путь по небу не всегда одинаков: точки горизонта, в которых он восходит и заходит, его высота в небе в полдень и время от восхода до захода солнца - все претерпевает ряд изменений, которые сопровождаются изменениями погоды, растительности и т.д.; И таким образом, мы можем распознать существование сезонов и их повторение через определенный промежуток времени, который известен как год.

4. Но в то время как солнце всегда выглядит как яркий круглый диск, следующее по величине из небесных тел, луна, претерпевает изменения формы, которые легко бросаются в глаза наблюдателю, и сразу видно, что они происходят в регулярном порядке и примерно через одинаковые промежутки времени. Однако необходимо немного больше внимания, чтобы проследить связь между формой луны и ее положением на небе по отношению к солнцу. Таким образом, когда луна впервые становится видимой вскоре после захода солнца недалеко от того места, где село солнце, ее форма представляет собой тонкий полумесяц (см. рис. 11 на стр. 31), полой стороной обращенный от солнца, и она садится вскоре после захода солнца. Следующей ночью луна находится дальше от солнца, полумесяц толще, и она заходит позже; и так далее, пока, менее чем через неделю после первого появления полумесяца, она не появляется в виде

полукруглого диска, повернутого плоской стороной от солнца. Полукруг увеличивается и еще через неделю превращается в полный диск; луна теперь находится почти в направлении, противоположном солнцу, и поэтому восходит примерно на закате и заходит примерно на восходе солнца. Затем она начинает приближаться к солнцу с другой стороны, восходя перед ним и заходя днем; ее размер снова уменьшается, пока еще через неделю она снова не станет полукруглой, причем плоская сторона по-прежнему отвернута от солнца, но теперь повернута на запад, а не на восток. Затем полукруг превращается в постепенно уменьшающийся полумесяц, и время восхода приближается ко времени восхода солнца, пока луна не станет совсем невидимой. Через две или три ночи снова появляется новолуние, и вся серия изменений повторяется. Различные формы, которые, таким образом, принимает луна, теперь известны как ее **фазы**; время, занимаемое этой серией изменений, месяц, естественно, напрашивалось бы как удобная мера времени; и день, месяц и год, таким образом, легли бы в основу приблизительной системы измерения времени.

5. Из нескольких наблюдений за звездами также можно было ясно видеть, что они тоже, подобно солнцу и луне, меняли свое положение на небе: те, что были обращены к востоку, восходили, а те, что были обращены к западу, опускались и, наконец, заходили, в то время как другие перемещались по небу с востока на запад, а те, что были в определенной северной части неба, хотя тоже находились в движении, никогда не были замечены ни восходящими, ни заходящими. Хотя что-либо похожее на полную классификацию звезд относится к более продвинутой стадии изучения предмета, несколько групп звезд можно было бы легко распознать, и их положение на небе можно было бы использовать как приблизительное средство измерения ночного времени, точно так же, как положение солнца для указания времени суток.

6. К этим рудиментарным представлениям были сделаны важные дополнения, когда стали возможными более тщательные и продолжительные наблюдения, и было уделено немного внимания их интерпретации.

Несколько народов, достигших высокой стадии цивилизации в ранний период, утверждают, что добились значительного прогресса в астрономии. Греческие традиции приписывают значительные астрономические знания египетским жрецам, жившим за несколько тысяч лет до нашей эры, и некоторые особенности пирамид, построенных в какой-то из таких периодов, во всяком случае, правдоподобно интерпретируются как свидетельства довольно точных астрономических наблюдений; китайские записи описывают наблюдения, предположительно сделанные в 25 веке до нашей эры; некоторые индийские священные книги ссылаются на астрономические знания, приобретенные за несколько столетий до этого времени; а первые наблюдения халдейских жрецов Вавилона были отнесены к временам не намного более поздним.

С другой стороны, самое раннее зарегистрированное астрономическое наблюдение, подлинность которого может быть принята без колебаний, относится только к 8 веку до нашей эры

Для целей этой книги не стоит делать никаких попыток выделить из массы сомнительных традиций и гипотетических интерпретаций надписей, имеющих отношение к этой ранней астрономии, те немногие факты, которые в ней заложены; и мы можем сразу перейти к некоторому описанию астрономических знаний, отличных от тех, о которых уже говорилось,

которые были обнаружены во владении самых ранних действительно исторических астрономов — греков — в начале их научной истории, оставляя открытым вопрос, какие части их были получены от египтян, халдеев, их собственных предков или других ученых. источники.

7. Если наблюдатель посмотрит на звезды любой ясной ночью, он увидит, по-видимому, бесчисленное1 множество из них, которые, по-видимому, лежат на части сферической поверхности, центром которой он является. Об этой сферической поверхности обычно говорят как о небе, и она известна в астрономии как **небесная сфера**. Видимая часть этой сферы ограничена землей, так что сразу можно увидеть только половину; но требуется лишь малейшее усилие воображения, чтобы представить себе, что другая половина лежит под землей и содержит другие звезды, а также солнце. Наблюдателю эта сфера кажется очень большой, хотя он не в состоянии дать сколько-нибудь точную оценку ее размеров.2

Большинству из нас в наши дни с детства внушали, что звезды находятся на разном расстоянии и, следовательно, этой сферы в действительности не существует. Древние народы не знали об этом, и для них небесная сфера действительно существовала, и часто считалось, что это твердая хрустальная сфера.

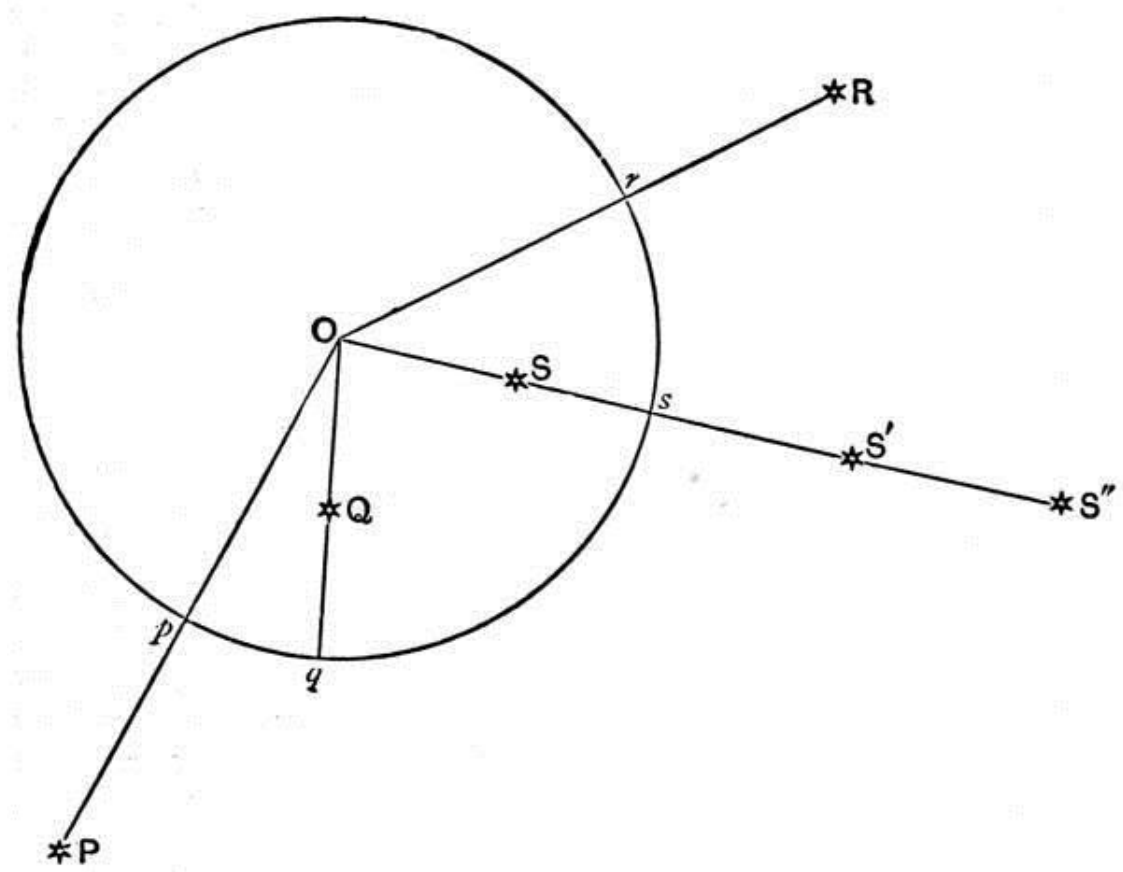


Рис. 1.Небесная сфера.

Более того, современные астрономы, так же как и древние, считают удобным для очень многих целей использовать эту сферу, хотя она и не имеет материального существования, как средство представления направлений, в которых видны небесные тела, и их движений. Ибо все, что прямое наблюдение может сказать нам о положении такого объекта, как звезда, - это его

направление; его расстояние можно определить только косвенными методами, если оно вообще возможно. Если мы нарисуем сферу и предположим, что глаз наблюдателя помещен в ее центр O (рис. 1), а затем проведем прямую линию от O к звезде S, пересекающей поверхность сферы в точке*s*; тогда звезда появится точно в том же положении, как если бы она находилась в точке *s*, и ее видимое положение не изменилось бы, если бы она была размещена в любой другой точке, такой как S ' или S", на этой же линии. Следовательно, когда мы говорим о звезде как находящейся в точке*s* на небесной сфере, все, что мы имеем в виду, это то, что она находится в том же направлении, что и точка *s*, или, другими словами, что она расположена где-то на прямой, проходящей через O и S. Преимущества этого метода представления положения звезды становятся очевидными, когда мы хотим сравнить положения нескольких звезд. Разница в направлении двух звезд - это угол между линиями, проведенными от глаза к звездам;*например*, если звезды равны R, S, это угол R O S. Аналогично разница в направлении другой пары звезд, P, Q, равна углу P O Q. Две звезды P и Q кажутся ближе друг к другу, чем R и S, или дальше друг от друга, в зависимости от того, насколько угол P O Q меньше или больше угла R O S. Но если мы представим звезды соответствующими точками *p*, *q*, *r*, *s* на небесной сфере, то (в силу очевидного свойства сферы) угол P O Q (который совпадает с *p* O *q*) меньше или больше угла R O S (или *r* O *s*) в соответствии с тем, что дуга, соединяющая *p q* на сфере, меньше или больше дуги, соединяющей *r s*, и в той же пропорции; если, например, угол R O S в два раза больше, чем угол P O Q, следовательно, и дуга*p q* в два раза больше дуги *r s*. Поэтому мы можем во всех вопросах, касающихся только направлений звезд, заменять угол между направлениями двух звезд дугой, соединяющей соответствующие точки на небесной сфере, или, другими словами, расстоянием между этими точками на небесной сфере. Но такие дуги на сфере легче оценить на глаз и геометрически обработать, чем углы, и поэтому использование небесной сферы имеет большую ценность, помимо ее исторического происхождения. Важно отметить, что это**видимое расстояние** двух звезд, *т.е.* их расстояние друг от друга на небесной сфере, совершенно отличается от их фактического расстояния друг от друга в космосе. Например, на рисунке Q на самом деле намного ближе к S, чем к P, но кажущееся расстояние, измеренное дугой, *qs* в несколько раз больше, чем *qp*. Видимое расстояние между двумя точками на небесной сфере измеряется численно углом между линиями, соединяющими глаз с двумя точками, выраженным в **градусах**, **минутах** и **секундах**.3

Мы могли бы, конечно, согласиться рассматривать небесную сферу как имеющую определенный размер, а затем выразить расстояние между двумя точками на ней в милях, футах или дюймах; но практически это очень неудобно делать. Говорить, как иногда делают некоторые люди, что расстояние между двумя звездами составляет столько-то футов, бессмысленно, если одновременно не указаны предполагаемые размеры небесной сферы.

Уже указывалось, что наблюдатель всегда находится в центре небесной сферы; это остается верным, даже если он перемещается в другое место. Однако сфера имеет только один центр, и поэтому, если сфера остается неподвижной, наблюдатель не может перемещаться и в то же время всегда оставаться в центре. Древние астрономы справились с этой трудностью, предположив, что небесная сфера настолько велика, что любое возможное движение наблюдателя было бы незначительным по сравнению с радиусом сферы и им можно было бы пренебречь. Часто более удобно — когда мы используем сферу как простое геометрическое устройство для представления положения звезд — рассматривать сферу как движущуюся вместе с наблюдателем, так что он всегда остается в центре.

8. Хотя кажется, что все звезды движутся по небу (§ 5), и скорости их движения различаются, тем не менее расстояние между любыми двумя звездами остается неизменным, и, следовательно, они рассматривались как прикрепленные к небесной сфере. Более того, небольшое тщательное наблюдение показало бы, что движения звезд в разных частях неба, хотя на первый взгляд и очень разные, были именно такими, которые были бы вызваны вращением небесной сферы — с прикрепленными к ней звездами — вокруг оси, проходящей через центр и через точку на северном небе, близкую к знакомой полярной звезде. Эта точка называется**полюсом**. Однако, поскольку прямая линия, проведенная через центр сферы, пересекается с ней в двух точках, ось небесной сферы снова пересекается с ней во второй точке, противоположной первой, лежащей в части небесной сферы, которая постоянно находится ниже горизонта. Эта вторая точка также называется полюсом; и если необходимо различать два полюса, то тот, который упоминается первым, называется**северным полюсом**, а другой - **южным полюсом**. Направление вращения небесной сферы вокруг своей оси таково, что звезды вблизи северного полюса движутся вокруг нее кругами в направлении, противоположном тому, в котором движутся стрелки часов; движение равномерное, и полный оборот совершается за четыре минуты меньше, чем за двадцать четыре часа; так что положение любой звезды на небе в двенадцать часов сегодняшней ночи совпадает с ее положением без четырех минут двенадцать завтрашней ночи.

Луна, как и звезды, разделяет это движение небесной сферы, как и солнце, хотя это труднее распознать из-за того, что солнце и звезды не видны вместе.

Поскольку приходится иметь дело с другими движениями небесных тел, только что описанное общее движение может быть удобно обозначено как **суточное движение** или **суточное вращение** небесной сферы.

9. Дальнейшее изучение суточного движения привело бы к распознаванию определенных важных кругов небесной сферы.

Каждая звезда описывает в своем суточном движении круг, размер которого зависит от ее расстояния от полюсов. Рис. На рис. 2 показаны траектории, описываемые рядом звезд вблизи полюса, снятые фотографически в течение части ночи. Полярная звезда описывает настолько малый круг, что ее движение с трудом можно обнаружить невооруженным глазом, звезды, расположенные немного дальше от полюса, описывают круги большего размера, и так далее, пока мы не дойдем до звезд, находящихся на полпути между двумя полюсами, которые описывают самый большой круг, который можно нарисовать на небесной сфере. Окружность, на которой лежат эти звезды и которую описывает любая из них ежедневно, называется**экватором**. Взглянув на диаграмму, такую как рис. 3, или, еще лучше, взглянув на реальный земной шар, можно легко увидеть, что половина экватора (E Q W) находится выше, а половина (пунктирная часть, W R E) ниже горизонта, и что, следовательно, звезда, такая как*s*, лежащая на экваторе, находится в своем ежедневном движении столько же времени над горизонтом, сколько и под ним. Если звезда, такая как S, находится на северной стороне экватора, *т.е.* на стороне, на которой расположен северный полюс P, более половины ее суточного пути проходит над горизонтом, а менее половины (как показано пунктирной линией) - ниже; и если звезда находится достаточно близко к северному полюсу (точнее, если она ближе к северному полюсу, чем ближайшая точка K на горизонте), как σ, она никогда не заходит, а постоянно остается над горизонтом. Такая звезда называется (**северной**) **циркумполярной** звездой. С другой стороны, менее половины суточного пути звезды на южной стороне экватора,

такой как S', находится над горизонтом, а звезда, такая как σ', расстояние которой от северного полюса больше расстояния от самой дальней точки горизонта, H, или которая ближе, чем H к южному полюсу, постоянно остается за горизонтом.

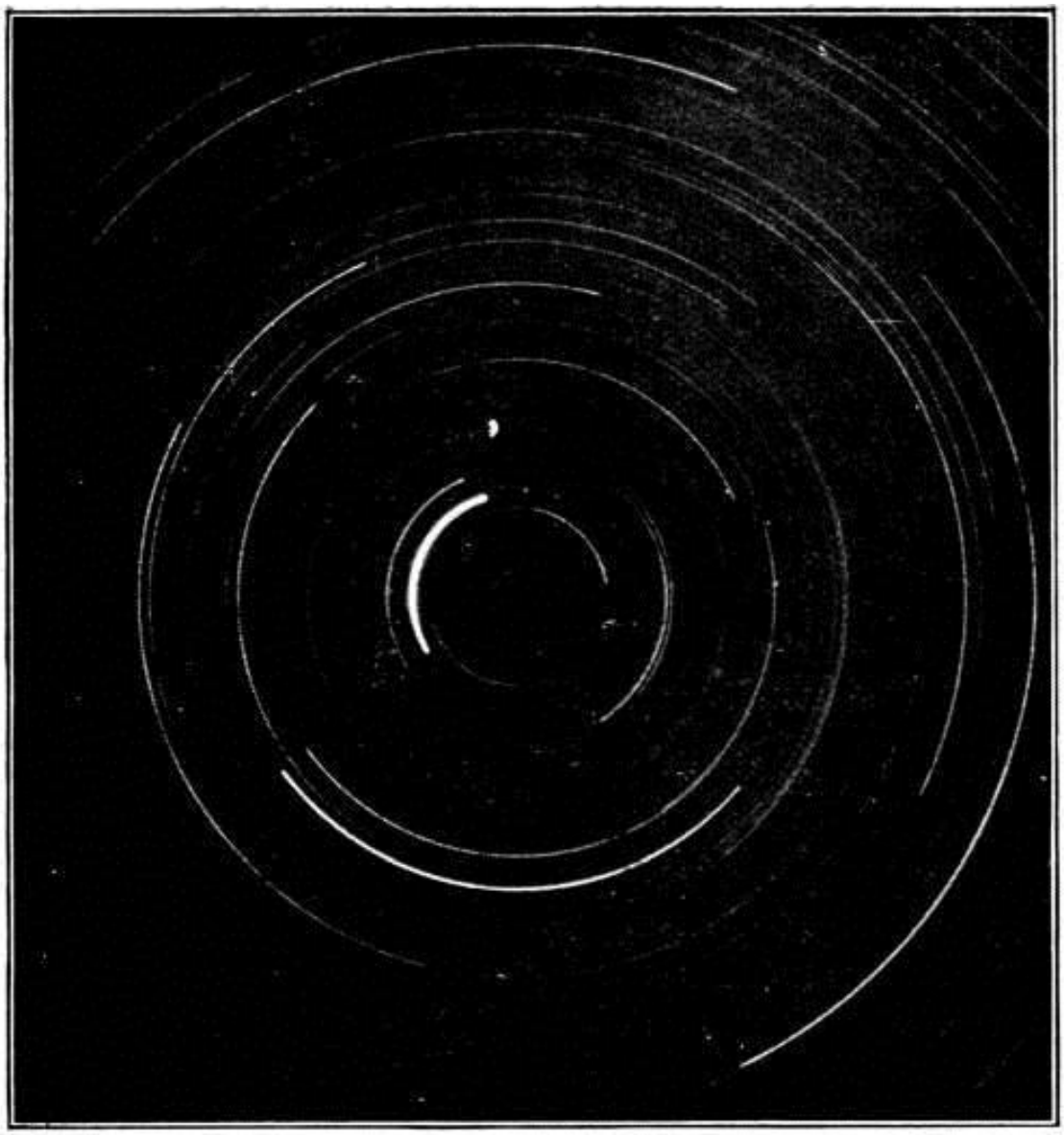


Рис. 2. Траектории циркумполярных звезд, показывающие их движение в течение семи часов. С фотографии мистера Х. Пейна. Самая толстая линия - это путь полярной звезды.

Смотреть в лицо стр. 8.

10. Небольшого знакомства со звездами достаточно, чтобы показать любому, что одни и те же звезды не всегда видны в одно и то же время ночи. Необходимы гораздо более тщательные наблюдения, проводимые в течение значительного времени, чтобы увидеть, что вид неба регулярно меняется от ночи к ночи и что по прошествии года одни и те же звезды снова становятся видны в то же время. Объяснить эти изменения движением солнца по небесной сфере сложнее, и неизвестный первооткрыватель этого факта, несомненно, сделал один из важнейших шагов в ранней астрономии.

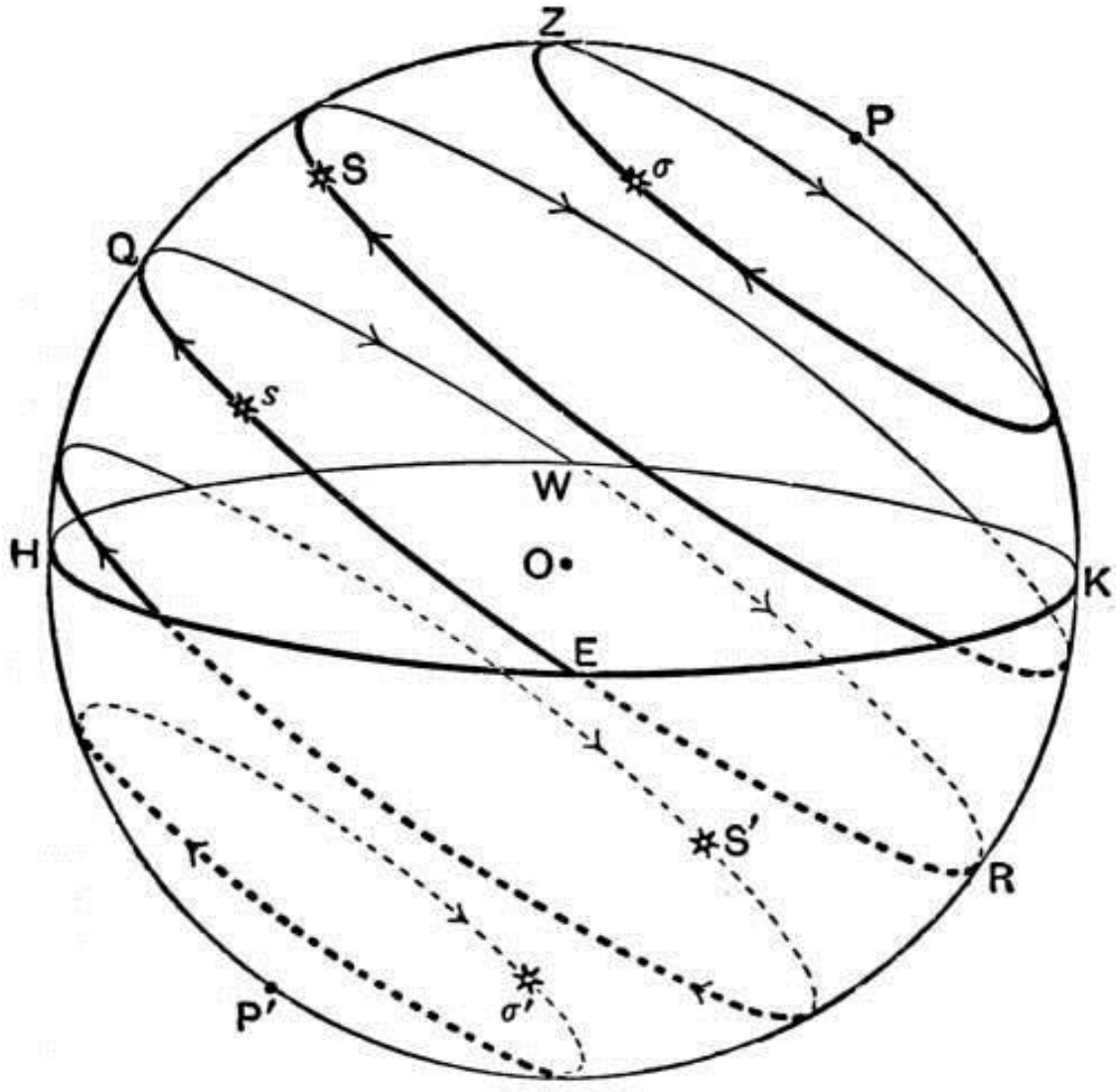


Рис. 3.Круги небесной сферы.

Если наблюдатель замечает вскоре после захода солнца звезду где-нибудь на западе и ищет ее снова несколькими вечерами позже примерно в то же время, он находит ее ниже и ближе к солнцу; еще несколько вечеров спустя она все еще невидима, в то время как ее место теперь заняла какая-нибудь другая звезда, которая сначала находилась дальше на востоке в небе. В свою очередь, можно наблюдать, как эта звезда приближается к солнцу вечер за вечером. Или, если заметить звезды, видимые после захода солнца низко на востоке, несколькими днями позже, оказывается, что они находятся выше в небе, а их место занимают другие звезды, поначалу расположенные слишком низко, чтобы их можно было разглядеть. Такие наблюдения за восходом или заходом звезд во время восхода или заката солнца показали ранним наблюдателям, что звезды постепенно меняют свое положение по отношению к солнцу или что солнце меняет свое положение по отношению к звездам.

Только что описанные изменения в сочетании с тем фактом, что звезды не меняют своего положения относительно друг друга, показывают, что звезды в целом совершают свой ежедневный оборот несколько быстрее, чем солнце, и с такой скоростью, что они опережают

его на один полный оборот в течение года. Это можно выразить иначе в виде того, что все звезды на небесной сфере движутся на запад относительно солнца, так что звезды на востокепостоянно приближаются, а звезды на западе постоянно удаляются от солнца. Но, опять же, те же факты могут быть выражены с равной точностью и большей простотой, если мы рассматриваем звезды как неподвижные на небесной сфере, а солнце как движущееся по ней с запада на восток среди них (то есть в направлении,*противоположном* направлению суточного движения), и с такой скоростью, чтобы завершить оборот небесной сферы и вернуться в то же положение через год.

Это **годовое движение** солнца, однако, легко увидеть, что это не просто движение с запада на восток, ибо если бы это было так, солнце всегда восходило бы и заходило в одних и тех же точках горизонта, как это делает звезда, и его полуденная высота на небе и время от восхода до заката всегда были бы одинаковыми. Мы уже видели, что если звезда лежит на экваторе, то половина ее суточного пути проходит над горизонтом, если звезда находится севернее экватора более чем наполовину, а если к югу от экватора - менее чем наполовину; и то, что верно для звезды, верно по той же причине для любого тела, разделяющего суточное движение небесной сферы. Следовательно, в летние месяцы (с марта по сентябрь), когда день длиннее ночи и более половины суточного пути солнца проходит над горизонтом, солнце должно находиться к северу от экватора, а в зимние месяцы (с сентября по март) солнце должно находиться к югу от экватора. Изменение расстояния солнца от полюса также очевидно из того факта, что в зимние месяцы солнце в целом находится ниже на небе, чем летом, и что, в частности, его полуденная высота меньше.

11. Таким образом, путь солнца по небесной сфере проходит под углом к экватору, частично по одну сторону от него, частично по другую. Однако, прежде чем было установлено, что годовой путь солнца по небесной сфере (см. рис. 4) является**большим кругом** (то есть кругом, центр которого находится в центре сферы). Этот большой круг теперь называется **эклиптикой** (потому что затмения происходят только тогда, когда луна находится в нем или вблизи него), а угол, под которым она пересекает экватор, называется **наклоном** эклиптики. Китайцы утверждают, что измерили наклон в 1100 году до н.э. и нашли удивительно точное значение 23 ° 52' (ср. главу II, § 35). В истинности этого утверждения можно обоснованно усомниться, но, с другой стороны, утверждение некоторых позднегреческих авторов о том, что либо Пифагор, либо Анаксимандр (6 век до н.э.) *первыми* открыли наклон эклиптики, почти наверняка неверно. Это, должно быть, было известно с достаточной точностью как халдеям, так и египтянам задолго до этого.

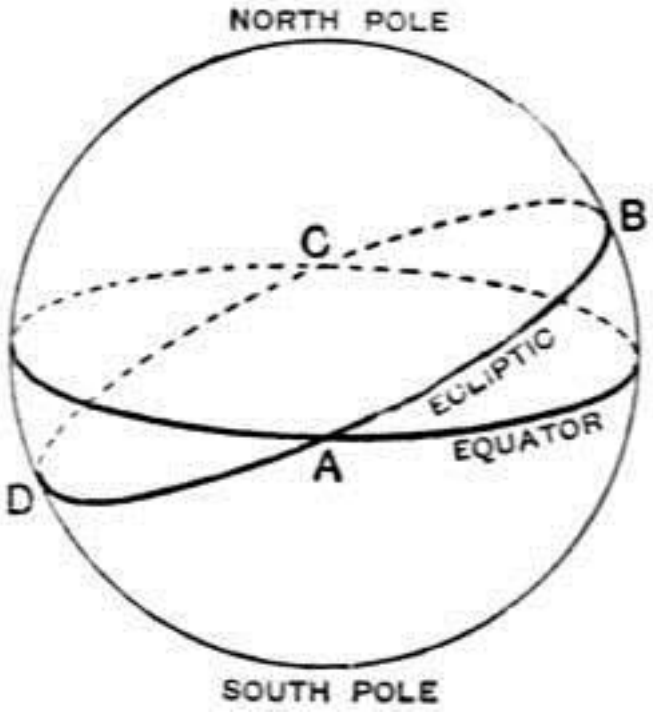


Рис. 4. Экватор и эклиптика.

Когда солнце пересекает экватор, день равен ночи, и, следовательно, времена, когда это происходит, известны как **равноденствия**, **весеннее равноденствие** наступает, когда солнце пересекает экватор с юга на север (примерно 21 марта), и **осеннее равноденствие**, когда оно пересекает его обратно (примерно 23 сентября). Точки на небесной сфере, где солнце пересекает экватор (A, C на рис. 4), *т.е.* Места пересечения эклиптики и экватора называются **точками равноденствия**, иногда также равноденствиями.

После весеннего равноденствия солнце на своем пути вдоль эклиптики удаляется от экватора к северу, пока примерно через три месяца не достигнет максимального расстояния от экватора, а затем снова приближается к экватору. Время, когда солнце находится на наибольшем расстоянии от экватора с северной стороны, называется **летним солнцестоянием**, потому что тогда движение солнца на север приостанавливается и оно временно как бы останавливается. Точно так же солнце находится на наибольшем расстоянии от экватора к югу в день **зимнего солнцестояния**. Точки на эклиптике (B, D на рис. 4) точки солнцестояния, в которых находится солнце, называются**точками солнцестояния**и находятся на полпути между точками равноденствия.

12. Самые ранние наблюдатели, вероятно, заметили определенные группы звезд, замечательные своей формой или присутствием среди них ярких звезд, и развлекали свое воображение, прослеживая сходство между ними и знакомыми объектами и т.д. Таким образом, в очень ранний период мы имеем грубую попытку разделить звезды на группы, называемые **созвездиями**, и дать последним названия.

В некоторых случаях звезды, рассматриваемые как принадлежащие к созвездию, образуют на небе хорошо заметную группу, достаточно отделенную от других звезд, чтобы их можно было удобно классифицировать вместе, хотя сходство, которое группа имеет с объектом, в честь

которого она названа, часто очень незначительно. Семь ярких звезд Большой Медведицы, например, образуют группу, которую любой наблюдатель очень скоро заметил бы и, естественно, объединил бы в созвездие, но сходство с медведицейэтих и более слабых звезд созвездия достаточно отдаленное (см. рис. 5), и на самом деле эта часть Медведицы также называлась Повозкой и в Америке широко известна как Большая Медведица; другое созвездие иногда называли Лирой, а иногда также Грифом. В очень многих случаях выбор звезд, по-видимому, был сделан настолько произвольным образом, что можно предположить, что сначала была представлена какая-то причудливая фигура, а затем были выбраны звезды, чтобы изобразить ее каким-то приблизительным образом. На самом деле, как замечает сэр Джон Гершель, “Созвездия, по-видимому, были намеренно названы и очерчены, чтобы вызвать как можно больше путаницы и неудобств. Бесчисленные змеи извиваются в длинных и искаженных областях небес, где никакая память не может уследить за ними; медведи, львы и рыбы, большие и малые, путают все обозначения ”. (*Очерки астрономии*, § 301.)

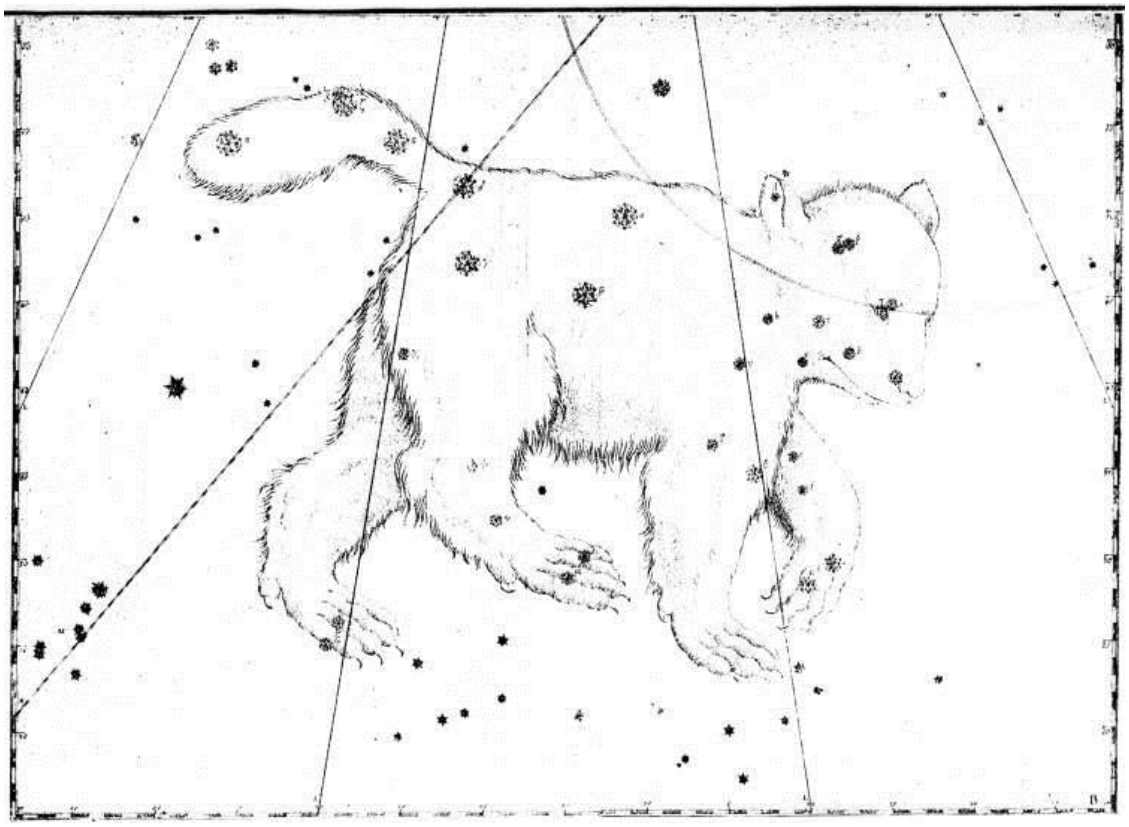


Рис. 5. Большая Медведица. Из "*Уранометрии*" Байера (1603). [

Смотреть в лицо стр. 12.

Созвездия в том виде, в каком мы их имеем сейчас, за исключением определенного числа (главным образом на южном небе), добавленных в наше время, в основном те, что существовали в ранней греческой астрономии; и та информация, которой мы располагаем о халдейских и египетских созвездиях, обнаруживает сходство, указывающее на то, что греки заимствовали некоторые из них. Названия, поскольку они не являются названиями животных или обычных предметов (Медведь, Змея, Лира и т.д.), в основном взяты из персонажей

греческой мифологии (Геркулес, Персей, Орион и т.д.). Созвездие Волос Береники, названное в честь египетской царицы 3 века до нашей эры, является одним из немногих, посвященных историческому персонажу.4

13. Среди созвездий, впервые получивших названия, были те, через которые проходит солнце в своем годовом кругообороте по небесной сфере, то есть те, через которые проходит эклиптика. Месячный путь Луны также представляет собой большой круг, никогда сильно не отличающийся от эклиптики, и пути планет (§ 14) таковы, что они также никогда не удаляются далеко от эклиптики. Следовательно, солнце, луну и пять планет всегда можно было найти в области неба, простирающейся примерно на 8 ° по каждую сторону эклиптики. Эта полоса небесной сферы называлась**зодиаком**, потому что созвездия в ней были (за одним исключением) названы в честь живых существ (греч. ζῷον, животное); она была разделена на двенадцать равных частей,**знаков зодиака**, через одну из которых солнце проходило каждый месяц, так что положение солнца в любое время можно было приблизительно описать, указав, в каком “знаке” оно находится. Звезды в каждом ”знаке“ были сформированы в созвездие, причем ”знак" и созвездие получили одно и то же название. Так возникли двенадцать **зодиакальных созвездий**, названия которых дошли до нас с незначительными изменениями с древнегреческих времен.5 Однако из-за изменения положения экватора и, следовательно, точек равноденствия знак Овен, который был определен Гиппархом во втором веке до нашей эры (см. Главу II, § 42) как начинающийся с точки весеннего равноденствия, содержит больше не созвездие Овна, а предшествующее ему, Рыбы. это соответствующее изменение по всему зодиаку. Более точные числовые методы современной астрономии, однако, сделали знаки зодиака почти устаревшими: но**первая точка Овна** (♈и **первая точка Весов** (♎все еще являются признанными названиями точек равноденствия.

В некоторых случаях отдельные звезды также получали особые названия или назывались в честь части созвездия, в которой они находились, *например,* Сириус, Глаз Быка, Сердце Льва и т.д.; Но большинство современных названий отдельных звезд имеют арабское происхождение (глава III., § 64).

14. Мы видели, что звезды в целом сохраняют неизменное положение на небесной сфере,6 тогда как солнце и луна меняют свое положение. Однако в доисторические времена было обнаружено, что пять тел, на первый взгляд едва отличимых от других звезд, также поменяли свои места. Эти пять — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн — вместе с солнцем и луной были названы **планетами**,7 или странниками, в отличие от **неподвижных звезд**. Меркурий никогда не виден, за исключением редких случаев у горизонта сразу после захода солнца или перед восходом солнца, и в таком климате, как наш, его приходится долго искать; и весьма примечательно, что не сохранилось никаких записей о его открытии. Венера заметна как Вечерняя Звезда или как Утренняя Звезда. Открытие идентичности Вечерних и Утренних Звезд приписывается Пифагору (6 век до н.э.), но почти наверняка оно было сделано раньше, хотя поэмы Гомера содержат ссылки на оба вида, без каких-либо указаний на их идентичность. Юпитер временами так же заметен, как Венера в ее самые яркие моменты, в то время как Марс и Сатурн, при удачном расположении, стоят в одном ряду с самыми яркими из неподвижных звезд.

Траектории движения планет на небесной сфере, как мы видели (§ 13), никогда не удаляются очень далеко от эклиптики; но в то время как солнце и луна непрерывно движутся по своим

траекториям с запада на восток, движение планеты иногда бывает с запада на восток, или**прямым**, а иногда с востока на запад, или **ретроградным**. Если мы начнем наблюдать планету, когда она движется на восток среди звезд, мы обнаружим, что через некоторое время движение становится все медленнее и медленнее, пока не покажется, что планета вообще почти не движется, а затем начинает двигаться с постепенно увеличивающейся скоростью в противоположном направлении; через некоторое время это движение на запад замедляется, а затем прекращается,и затем планета снова начинает двигаться на восток, сначала медленно, а затем быстрее, пока не вернется в свое первоначальное состояние, и изменения повторяются. Когда планета просто меняет направление своего движения, говорят, что она**неподвижна**, и тогда ее положение называется **неподвижной точкой**. Время, в течение которого движение планеты является ретроградным, однако, всегда значительно меньше того, в течение которого оно является прямым; например, движение Юпитера прямое около 39 недель, а ретроградное - 17, в то время как прямое движение Меркурия длится 13 или 14 недель, а ретроградное - всего около 3 недель (см. рис. 6, 7). В целом планеты движутся с запада на восток и описывают круги вокруг небесной сферы за периоды, которые различны для каждой планеты. Объяснение этих неравномерностей в движении планет долгое время было одной из величайших трудностей астрономии.

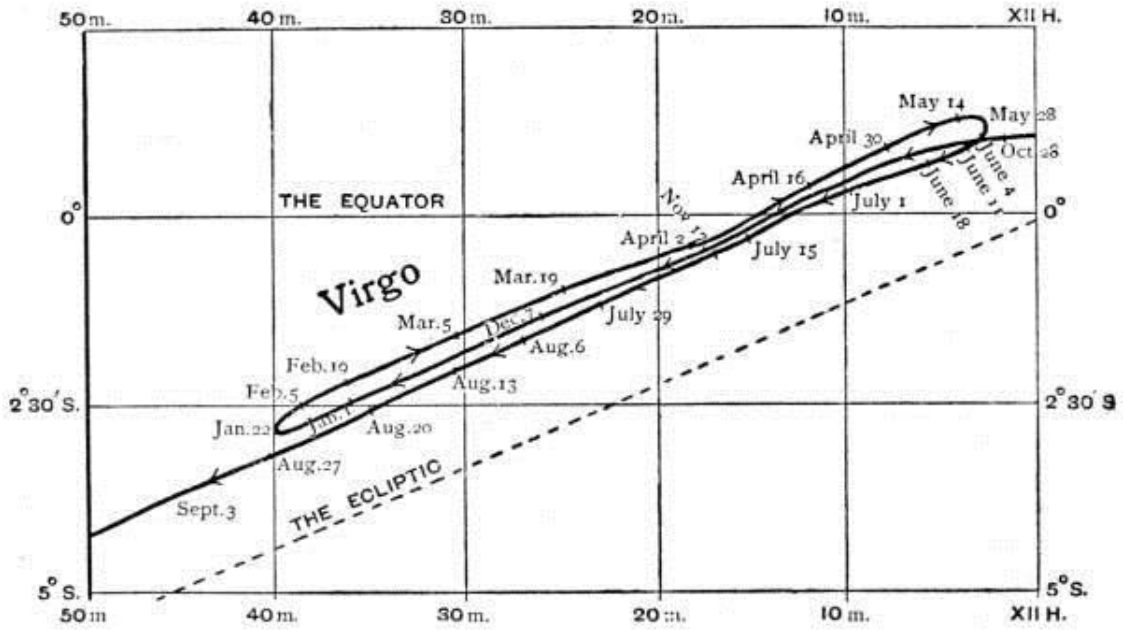
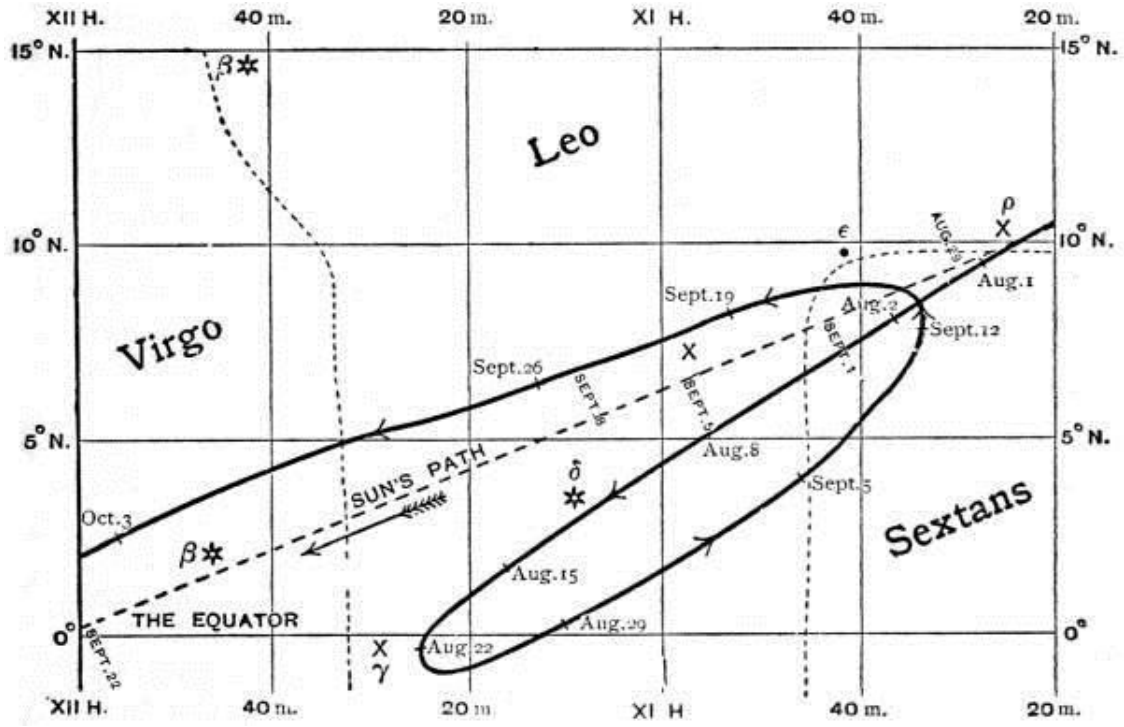


Рис. 6. Видимый путь Юпитера с 28 октября 1897 г. по 3 сентября 1898 г. Даты, указанные на диаграмме, показывают положение Юпитера.

15. Идея о том, что некоторые небесные тела находятся ближе к земле, чем другие, должна была быть подсказана затмениями (§ 17) и **затемнениями**, *т.е.* прохождениями луны над планетой или неподвижной звездой. Таким образом, Луна была бы признана более близкой, чем любое другое небесное тело. Поскольку прямых средств для определения расстояний не было, в качестве критерия вероятной близости использовалась скорость движения. Теперь Сатурн возвращается на то же место среди звезд примерно через 29-1 / 2 года, Юпитер - через 12 лет, Марс - через 2 года, солнце - через год, Венера - через 225 дней, Меркурий - через 88 дней, а

луна - через 27 дней; и этот порядок обычно принимался за порядок расстояния: Сатурн был самым удаленным, луна - ближайшей. Звезды, видимые над нами, естественно было считать самыми удаленными небесными телами, и соответственно Сатурн, Юпитер и Марс, находящиеся за солнцем, назывались **высшими планетами**, в отличие от двух **низших планет** Венеры и Меркурия. Это разделение соответствует также различию в наблюдаемых движениях, поскольку Венера и Меркурий, по-видимому, сопровождают солнце в его годовом путешествии, никогда не удаляясь от него более чем на 47 и 29 °, соответственно, с обеих сторон; в то время как другие планеты таким образом не ограничены в своих движениях.



На фиг. 7.—Очевидный путь Меркурия с августа. К 1 октября. 3, 1898. Даты, напечатанные заглавными буквами, указывают положение солнца; другие даты указывают положение Меркурия.

16. Одной из целей, для которой впервые были применены астрономические знания, было измерение времени. Поскольку попеременное появление и исчезновение солнца, принося с собой свет и тепло, является наиболее очевидным из астрономических фактов, сутки - простейшая единица измерения времени.8 Некоторые из ранних цивилизованных народов делили время от восхода до захода солнца, а также ночь на 12 равных часов. Согласно этому порядку, дневной час летом был длиннее, чем ночной, а зимой короче, и продолжительность часа менялась в течение года. Например, в Вавилоне, где существовал такой порядок, продолжительность дневного часа в середине лета была примерно вдвое короче, чем в середине зимы, а в Лондоне она была бы примерно вдвое длиннее. Поэтому было большим достижением, когда греки в сравнительно поздние времена разделили весь день на 24 равных часа. Другие ранние народы делили тот же период на 12 двойных часов, а другие снова на 60 часов.

Следующей наиболее очевидной единицей измерения времени является **лунный месяц**, или период, в течение которого луна проходит свои фазы. Третья независимая единица измерения -

это год. Хотя год для обычной жизни гораздо важнее месяца, все же, поскольку он намного длиннее и любое время года распознать труднее, чем определенную фазу Луны, продолжительность года определить сложнее, и, соответственно, самые ранние известные системы измерения времени были основаны на месяце, а не на году. Было обнаружено, что продолжительность месяца почти равна 29-1/ 2 дням, и поскольку период, состоящий из точного количества дней, очевидно, был удобен для большинства обычных целей, использовались месяцы по 29 или 30 дней, и впоследствии календарь был приведен в более близкое соответствие с лунным календарем за счет использования месяцев, содержащих попеременно 29 и 30 дней (ср. глава II.,§ 19).

И халдеи, и египтяне, по-видимому, знали, что год состоит примерно из 365-1/ 4 дней; и последние, для которых важность года подчеркивалась подъемом и опусканием Нила, вероятно, были первой нацией, которая использовала год вместо месяца в качестве меры времени. Они выбрали год из 365 дней.

Происхождение недели сильно отличается от происхождения месяца или года и основывается на определенных астрологических представлениях о планетах. Каждому часу суток была назначена “управительница” одной из семи планет (включая солнце и Луну), и каждый день был назван в честь планеты, которая управляла его первым часом. Планеты были взяты в уже приведенном порядке (§ 15), Сатурн управлял первым часом первого дня, а следовательно, также 8-м, 15-м и 22-м часами первого дня, 5-м, 12-м и 19-м часами второго дня и так далее; Юпитер управлял 2-м, 9-м, 16-м и 23-м часами первого дня, а затем 1-м часом 6-го дня. Таким образом, первые часы последующих дней приходились соответственно на Сатурн, Солнце, Луну, Марс, Меркурий, Юпитер и Венеру. Первые три дня легко узнать в наших субботах, воскресеньях и понедельниках; в остальные дни имена римских богов были заменены их предполагаемыми тевтонскими эквивалентами: Меркурий — Воданом, Марс - Туесом, Юпитер - Тором, Венера - Фрейей.9

17. **Затмения** солнца и Луны, должно быть, с самых ранних времен вызывали большой интерес, смешанный с суеверным ужасом, и надежда получить какие-то знания о них, вероятно, была важным стимулом для ранних астрономических работ. То, что солнечные затмения происходят только в новолуние, а лунные - только в полнолуние, должно было быть замечено после очень небольшого наблюдения; то, что солнечные затмения вызваны прохождением Луны перед ней, должно было быть лишь немного менее очевидным; но открытие, что лунные затмения вызваны тенью Земли, вероятно, было сделано гораздо позже. Фактически, даже во времена Анаксагора (5 век до н.э.) эта идея была настолько незнакома афинской публике, что считалась богохульной.

Одним из самых замечательных вкладов халдеев в астрономию было открытие (сделанное, во всяком случае, за несколько столетий до н.э.) повторяемости затмений после периода, известного как **сарос**, состоящего из 6585 дней (или восемнадцати наших лет и десяти или одиннадцати дней, в зависимости от того, включены ли пять или четыре високосных года). Вполне вероятно, что открытие было сделано не путем расчетов, основанных на знании движений солнца и Луны, а путем простого изучения дат, в которые были зарегистрированы затмения. Поскольку, однако, солнечное затмение (в отличие от лунного) видно только над небольшой частью поверхности земли, а солнечные затмения, происходящие с интервалом в восемнадцать лет, обычно не видны в одном и том же месте, совсем нелегко понять, как халдеи

могли установить свой цикл для этого случая, и на самом деле неясно, что сарос должен был применяться как к солнечным, так и к лунным затмениям. Сарос может быть проиллюстрирован в наше время солнечными затмениями, которые произошли 18 июля 1860 г., 29 июля 1878 г. и 9 августа 1896 г.; но первое было видно в Южной Европе, второе - в Северной Америке, а третье - в Северной Европе и Азии.

18. Халдеям может быть также оказана сомнительная честь быть одними из первых, кто разработал **астрологию**, ложную науку, претендующую на установление влияния звезд на человеческие дела, предсказание с помощью небесных наблюдений войн, голода и эпидемий и открытие судьбы людей по положению звезд при их рождении. Вера в ту или иную форму астрологии всегда преобладала в восточных странах; она процветала во времена среди греков и римлян; она составляла важную часть мысли средневековья и даже не совсем исчезла у нас в наши дни.10Однако следует помнить, что, хотя история астрологии является болезненной из-за многочисленных примеров человеческой доверчивости и плутовства, которые она дает, вера в нее, несомненно, была мощным стимулом для подлинного изучения астрономии (см. главу III, § 56, и главу V., §§ 99, 100)

ГЛАВА II.
ГРЕЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ.

“Астроном обнаруживает, что геометрия, чистая абстракция человеческого разума, является мерой движения планет”.

Эмерсон.

19. В более ранний период истории Греции одной из главных функций, ожидавшихся от астрономов, было надлежащее регулирование календаря. Греки, как и более ранние народы, начали с календаря, основанного на Луне. Во времена Гесиода в обиходе был год, состоящий из 12 месяцев по 30 дней; позже был введен год, состоящий из 6**полных** месяцев по 30 дней и 6 **пустых** месяцев по 29 дней. Солону приписывается заслуга в том, что он ввел в Афинах около 594 года до н.э. практику добавления к каждому очередному году “полного” месяца. Таким образом, двухлетний период будет содержать 13 месяцев по 30 дней и 12 по 29 дней, или всего 738 дней, распределенных между 25 месяцами, что дает для средней продолжительности года и месяца 369 дней и около 29-1/ 2 дней соответственно. Этот порядок был дополнительно усовершенствован введением, вероятно, в 5 веке до н.э., **октаэтериса**, или восьмилетнего цикла, в три года которого был введен дополнительный “полный” месяц, в то время как остальные годы, как и прежде, состояли из 6 “полных" и 6 “пустых” месяцев. Благодаря такому расположению средняя продолжительность года сократилась до 365-1/4 дней, при этом продолжительность месяца осталась почти неизменной. Однако, поскольку греки придавали особое значение началу месяца, когда новолуние было впервые видно, приходилось время от времени вносить произвольные изменения в календарь, что привело к значительной путанице,

на что Аристофан жалуется на Луну в своей пьесе "*Облака*", действие которой происходило в 423 году до нашей эры:

“И все же ты не будешь отмечать свои дни "

Делайте так, как она вам велит, но путайте их, перемешивая всевозможными способами.

И, по ее словам, Боги хором осыпают ее упреками,

Когда в горьком разочаровании они ложатся спать без ужина.

Не устраивать праздничных банкетов должным образом в день празднования”.

20. Немного позже астроном*Метон* (родился около 460 г. до н.э.) сделал открытие, что продолжительность 19 лет почти равна продолжительности 235 лунных месяцев (разница на самом деле составляет менее суток), и соответственно он разработал схему из 12 лет по 12 месяцев и 7 по 13 месяцев, причем 125 месяцев во всем цикле “полные”, а остальные ”пустые“. Почти столетие спустя *Каллипп* добился небольшого улучшения, заменив в каждом четвертом периоде из 19 лет ”полный“ месяц на один из "пустых". Был ли **цикл Метона**, как его называют, введен для гражданского календаря или нет, неизвестно, но если нет, то он использовался как стандарт, в соответствии с которым фактический календарь время от времени корректировался. Использование этого цикла, по-видимому, вскоре распространилось на другие части Греции, и оно является основой нынешнего церковного правила установления Пасхи. Трудность обеспечения удовлетворительного соответствия между гражданским календарем и фактическими движениями солнца и луны привела к появлению практики периодической публикации временных таблиц (παραπήγματα), мало чем отличающихся от наших современных календарей, в которых на ряд лет указываются даты фаз Луны, а также восход и заход некоторых неподвижных звезд вместе с предсказаниями погоды. По той же причине ранние авторы по сельскому хозяйству (*например,* Гесиод) устанавливали даты сельскохозяйственных работ не по календарю, а по времени восхода и захода созвездий, *т.е.* Времени, когда они впервые стали видны перед восходом солнца или в последний раз были видны сразу после захода солнца — практика, которая продолжалась еще долгое время после установления довольно удовлетворительного календаря и, по-видимому, ни в коем случае не исчезла во времена Галена (2 век н.э.).

21. Римский календарь в древности был еще более запутанным, чем греческий. По-видимому, одно время год состоял либо из 304, либо из 354 дней; традиция приписывала Нуме введение четырехлетнего цикла, который привел календарь в полное соответствие с солнечным, но сделал среднюю продолжительность месяца значительно короче. Однако вместо того, чтобы вносить дальнейшие уточнения, римляне разрубили узел, поручив церковным властям время от времени корректировать календарь, чтобы привести его в соответствие с солнцем и луной. Согласно одному из рассказов, первый день каждого месяца провозглашался глашатаем. Либо из-за невежества, либо, как утверждалось, из-за политического и коммерческого фаворитизма, священники допустили большую путаницу в календаре, так что, как заметил Вольтер, “романтические генералы торжествуют победу, они могут не быть спасенными в течение дня”.

Удовлетворительная реформа календаря была, наконец, осуществлена Юлием Цезарем за короткий период его правления в Риме по совету александрийского астронома *Сосигена*. Ошибка в календаре возросла до такой степени, что для ее исправления было сочтено

необходимым интерполировать три дополнительных месяца в одном году (46 год до н.э.), в результате чего общее количество дней в этом году достигло 445. В будущем год должен был не зависеть от Луны; обычный год должен был состоять из 365 дней, причем каждый четвертый год (наш високосный год) к февралю добавлялся дополнительный день, так что средняя продолжительность года составляла 365-1/4 дня.

Новая система появилась в 45 году до н.э. и вскоре распространилась под названием **Юлианского календаря**по всему цивилизованному миру.

22. Чтобы не возвращаться к этой теме, возможно, будет удобно рассмотреть здесь единственную более позднюю реформу, имеющую какое-либо значение.

Разница между средней продолжительностью года, установленной Юлием Цезарем, и истинным годом настолько мала, что составляет всего около одного дня за 128 лет. Таким образом, ко второй половине XVI века дата весеннего равноденствия была примерно на десять дней раньше, чем во времена Ниццкого собора (325 г. н.э.), на котором были установлены правила празднования Пасхи. Папа Григорий XIII. поэтому в 1582 году было внесено небольшое изменение; из этого года было опущено десять дней, и было решено исключить на будущее три високосных года за четыре столетия (а именно, в 1700, 1800, 1900, 2100 и т.д. Годах 1600, 2000, 2400 и т.д., оставшихся високосными годами). **Григорианский календарь**, или **Новый стиль**, как его обычно называли, не был принят в Англии до 1752 года, когда пришлось пропустить 11 дней; и до сих пор не принят в России и Греции, даты там сейчас отстают от дат Западной Европы на 12 дней.

23. В то время как их восточные предшественники ограничивались главным образом астрономическими наблюдениями, более ранние греческие философы, по-видимому, почти не делали важных наблюдений и были гораздо больше заинтересованы в исследовании причин явлений.*Фалесу*, основателю ионийской школы, более поздние авторы приписывают внедрение египетской астрономии в Грецию примерно в конце VII века до н.э.; но и Фалес, и большинство его непосредственных преемников, по-видимому, мало или вообще ничего не добавили к астрономии, за исключением некоторых довольно смутных предположений относительно формы земли и ее связи с остальным миром. С другой стороны, некоторый реальный прогресс, по-видимому, был достигнут*Пифагором*11 и его последователями. Пифагор учил, что земля, как и небесные тела, представляет собой сферу и что она покоится в центре вселенной, не требуя опоры. Были ли у него какие-либо реальные доказательства в поддержку этих взглядов, сомнительно, но, во всяком случае, разумно предположить, что он знал, что луна яркая, потому что на нее светит солнце, а фазы обусловлены большим или меньшим количеством освещенной половины, обращенной к нам; и изогнутая форма границы между светлой и темной частями Луны была правильно истолкована им как свидетельство того, что луна была сферической, а не плоским диском, как кажется на первый взгляд. Тогда аналогия, вероятно, наводила бы на мысль, что земля тоже имеет сферическую форму. Как бы то ни было, вера в сферическую форму земли никогда не исчезала из греческой мысли и в более поздние времена была устоявшейся частью греческих систем, откуда она почти в неизменном виде дошла до наших дней. Таким образом, эта вера на 2000 лет старше веры во вращение Земли и ее обращения вокруг Солнца (глава IV), доктрин, которые мы иногда склонны связывать с ней как основы современной астрономии.

У Пифагора также, возможно, впервые встречается идея, оказавшая чрезвычайно важное влияние на древнюю и средневековую астрономию. Предполагалось, что не только звезды прикреплены к хрустальной сфере, которая ежедневно вращается вокруг оси, проходящей через землю, но и каждая из семи планет (включая солнце и луну) движется по своей собственной сфере. Расстояния этих сфер от земли были установлены в соответствии с определенными умозрительными представлениями Пифагора о числах и музыке; следовательно, вращающиеся сферы производили гармоничные звуки, которые иногда могли слышать особо одаренные люди: таково происхождение идеи**музыки сфер,** которая постоянно повторяется в средневековых спекуляциях и иногда встречается в современной литературе. На более позднем этапе эти сферы Пифагора были развиты в научное представление о движении небесных тел, которое оставалось основой астрономии до времен Кеплера (глава VII).

24. Пифагорейец *Филолай*, живший примерно на столетие позже своего учителя, впервые ввел идею движения земли: он, по-видимому, рассматривал землю, а также солнце, луну и пять планет как вращающиеся вокруг некоего центрального огня, при этом земля вращалась вокруг своей собственной оси, очевидно, для того, чтобы центральный огонь всегда оставался невидимым для жителей известных частей земли. То, что схема была чисто фантастической и полностью отличалась от современной доктрины движения земли, с которой более поздние авторы путали ее, в достаточной степени подтверждается изобретением как части схемы чисто воображаемого тела, контрземли ([греч. ἀντιχθών]), которая довела число движущихся тел до десяти, священного числа Пифагора. Предложение такой важной идеи, как идея движения земли, идея, столь противоречащая необразованному здравому смыслу, хотя и представленная в такой грубой форме, без каких-либо доказательств, необходимых для получения всеобщего согласия, была, однако, несомненно, ценным вкладом в астрономическую мысль. Стоит отметить, что Копперник в великой книге, которая является основой современной астрономии (глава IV, § 75), особенно цитирует Филолая и других пифагорейцев как авторитетов в своем учении о движении земли.

Три других пифагорейца, относящиеся к концу 6-го века и к 5-му веку до н.э.,*Хикета* из Сиракуз, *Гераклит* и *Экфант*, явно упоминаются более поздними авторами как верившие во вращение земли.

Неясный отрывок из одного из диалогов Платона (*Тимей*) был истолкован многими древними и современными комментаторами как подразумевающий веру во вращение земли, и Плутарх также сообщает нам, частично опираясь на авторитет Теофраста, что Платон в старости принял веру в то, что центр вселенной занят не землей, а каким-то более совершенным телом.12

Почти единственным ученым греческим астрономом, верившим в движение земли, был *Аристарх* Самосский, живший в первой половине III века до н.э. и наиболее известный своими измерениями расстояний до солнца и Луны (§ 32). Он утверждал, что солнце и неподвижные звезды неподвижны, солнце находится в центре сферы, на которой оно находится, и что земля не только вращается вокруг своей оси, но и описывает орбиту вокруг солнца.*Селевк* из Селевкии, живший в середине 2 века до нашей эры, также придерживался аналогичного мнения. К сожалению, мы ничего не знаем об основаниях этой веры ни в том, ни в другом случае, и их взгляды, по-видимому, не нашли одобрения у их современников или преемников.

В этой связи также можно упомянуть, что Аристотель (§ 27) ясно осознавал, что видимое суточное движение звезд может быть объяснено движением либо звезд, либо земли, но он отверг последнее объяснение.

25. *Платон* (около 428-347 гг. до н.э.) не посвятил ни одного диалога специально астрономии, но сделал немало ссылок на этот предмет в различных местах. Он осуждал любое тщательное изучение реальных движений небесных тел как унижающее, а не возвышающее, и, очевидно, считал этот предмет заслуживающим внимания главным образом из-за его связи с геометрией, а также потому, что фактические движения небесных тел предполагали идеальные движения большей красоты и интереса. Этот взгляд на астрономию он противопоставляет популярной концепции, согласно которой этот предмет был полезен главным образом для того, чтобы дать земледельцу, мореплавателю и другим людям знания о временах года.13 В конце того же диалога он дает краткий отчет о небесных телах, согласно которому солнце, луна, планеты и неподвижные звезды вращаются по восьми концентрическим и плотно прилегающим колесам или окружностям вокруг оси, проходящей через землю. Начиная с ближайшего к земле тела, порядок таков: Луна, Солнце, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, звезды. Говорят, что Солнце, Меркурий и Венера совершают свои обороты в одно и то же время, в то время как другие планеты движутся медленнее, - утверждения, которые показывают, что Платон, во всяком случае, знал, что движения Венеры и Меркурия отличаются от движений других планет. Он также утверждает, что луна светит отраженным светом, получаемым от солнца.

Говорят, что Платон предложил своим ученикам в качестве достойной проблемы объяснение небесных движений посредством комбинации равномерных круговых или сферических движений. Что-либо похожее на точную теорию небесных движений, согласующуюся с реальными наблюдениями, такую, какую Гиппарх и Птолемей впоследствии построили с большим успехом, вряд ли соответствовало представлениям Платона об истинной астрономии, но он, вполне возможно, желал установить какую-то простую и гармоничную геометрическую схему, которая не полностью противоречила бы известным фактам.

26. Действуя в некоторой степени на основе этой идеи Платона, *Евдокс* из Книда (около 409-356 гг. до н.э.) попытался объяснить наиболее очевидные особенности небесных движений с помощью комбинации равномерных круговых движений. Его можно рассматривать как представителя перехода от спекулятивной греческой астрономии к научной. Как и в схемах нескольких его предшественников, неподвижные звезды лежат на сфере, которая ежедневно вращается вокруг оси, проходящей через землю; движение каждого из других тел производится комбинацией других сфер, центр каждой сферы лежит на поверхности предыдущей. Для солнца и Луны в каждом случае были необходимы три сферы: одна для создания суточного движения, общего для всех небесных тел; другая для создания годового или месячного движения в противоположном направлении вдоль эклиптики; и третья, с наклоном ее оси к оси предыдущей, для создания меньшего движения к эклиптике и от нее. Евдокс, очевидно, был хорошо осведомлен о том, что путь Луны не совпадает с эклиптикой, и даже о том, что ее путь не всегда одинаков, а постоянно меняется, так что в данном случае необходима была третья сфера; с другой стороны, он никак не мог быть знаком с мельчайшими отклонениями солнца от эклиптики, с которыми имеет дело современная астрономия. Следовательно, либо он использовал ошибочные наблюдения, либо, что более вероятно, третья сфера солнца была введена для объяснения чисто воображаемого движения, предполагаемого по “аналогии” с известным движением луны. Для каждой из пяти планет были необходимы четыре сферы,

причем дополнительная служила для изменения скорости движения и изменения направления движения вдоль эклиптики (глава I., § 14, и ниже, § 51). Таким образом, небесные движения были в некоторой степени объяснены с помощью системы из 27 сфер, 1 для звезд, 6 для солнца и луны, 20 для планет. Нет четких доказательств того, что Евдокс предпринял какую-либо серьезную попытку установить размер или время обращения сфер таким образом, чтобы добиться какого-либо точного соответствия с наблюдаемыми движениями небесных тел, хотя он со значительной точностью знал время, необходимое каждой планете для возвращения в прежнее положение относительно солнца; другими словами, его схема представляла небесные движения качественно, но не количественно. С другой стороны, нет оснований предполагать, что Евдокс рассматривал свои сферы (за возможным исключением сферы неподвижных звезд) как материальные; его известная преданность математике делает вероятным, что в его глазах (как и в глазах большинства ученых греческих астрономов, сменивших его) сферы были простыми геометрическими фигурами, полезными как средство преобразования очень сложных движений в более простые элементы. Евдокс также был первым зарегистрированным греком, у которого была обсерватория в Книде, но у нас мало подробностей об используемых инструментах или о сделанных наблюдениях. Однако именно ему мы обязаны первым систематическим описанием созвездий (см. Ниже, § 42), хотя оно, вероятно, в значительной степени основывалось на грубых наблюдениях, заимствованных у его греческих предшественников или у египтян. Он также был опытным математиком и разбирался в различных других областях знаний.

Вскоре после этого Каллипп (§ 20) развил схему вращающихся сфер Евдокса, добавив, по неизвестным нам причинам, по две сферы для солнца и Луны и по одной для Венеры, Меркурия и Марса, таким образом, доведя общее число до 34.

27. У нас есть довольно полный отчет об астрономических взглядах *Аристотеля* (384-322 гг. до н.э.), как посредством случайных ссылок, так и по двум трактатам — "*Метеорологике*" и "*De Coelo*", — хотя другая его книга, посвященная специально этому предмету, к сожалению, утеряна. Он принял планетарную схему Евдокса и Каллиппа, но предположил на “метафизических основаниях”, что сферы будут оказывать определенное возмущающее воздействие друг на друга, и для противодействия этому счел необходимым добавить 22 новых сферы, всего 56. В то же время он относился к сферам как к материальным телам, превращая таким образом остроумную и красивую геометрическую схему в запутанный механизм.14Однако сферы Аристотеля не были приняты ведущими греческими астрономами, сменившими его, поскольку системы Гиппарха и Птолемея представляли собой геометрические схемы, основанные на идеях, больше похожих на идеи Евдокса.

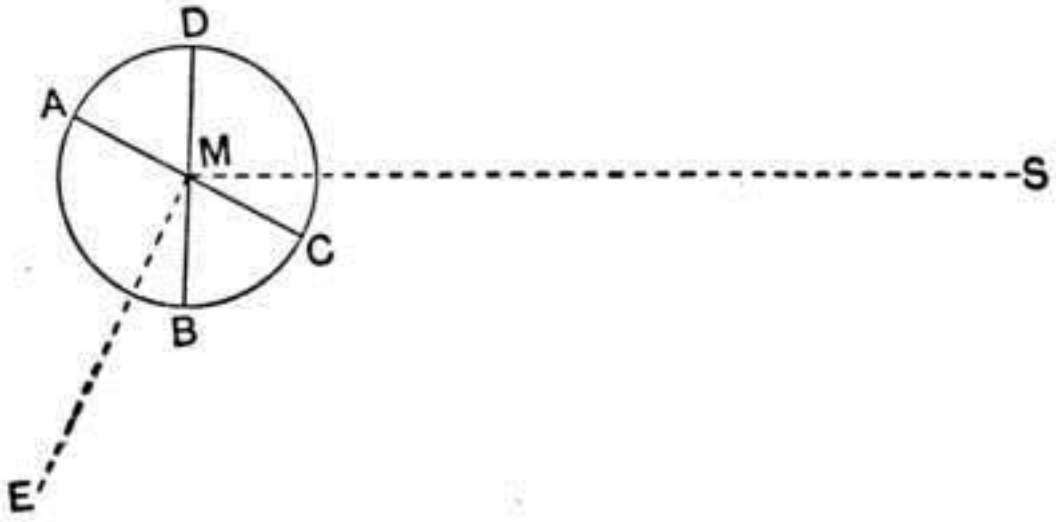


Рис. 8.Фазы Луны.

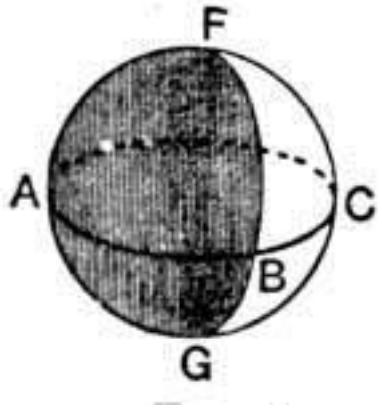


Рис. 9.Фазы Луны.

28. Аристотель, как и другие философы его времени, считал небеса и небесные тела сферическими. В случае с луной он подкрепляет это убеждение аргументом, приписываемым Пифагору (§ 23), а именно тем, что наблюдаемые проявления Луны в ее нескольких фазах - это те, которые были бы приняты сферическим телом, только одна половина которого освещена солнцем. Таким образом, видимая часть Луны ограничена двумя плоскостями, проходящими почти через ее центр, перпендикулярными соответственно линиям, соединяющим центр Луны с линиями Солнца и земли. На прилагаемой диаграмме, которая представляет сечение через центры солнца (S), Земли (E) и Луны (M), A B C D представляющее в значительно увеличенном масштабе сечение самой Луны, часть D A B, которая обращена в сторону от солнца, темная, в то время как часть A D C, отвернутая от наблюдателя на земле, в любом случае невидима для него. Таким образом, часть луны, которая кажется яркой, - это та, частью которой является Bc, или часть, представленная символом Fbgc на рис. 9 (который представляет полную луну), которая, следовательно, кажется глазу ограниченной полукругом Fcg и частью Fbg овальной кривой (фактически эллипсом). Ширина этой яркой поверхности явно меняется в зависимости от взаимного расположения солнца, Луны и земли; так что в течение месяца, в течение которого луна последовательно занимает положения относительно солнца и земли, представленные 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 на рис. 10 ее внешний вид представлен соответствующими цифрами на рис. 11.

Таким образом, луна проходит через знакомые фазы полумесяца, наполовину полной, висячей, полнолуния и снова висячей, наполовину полной, полумесяца.15

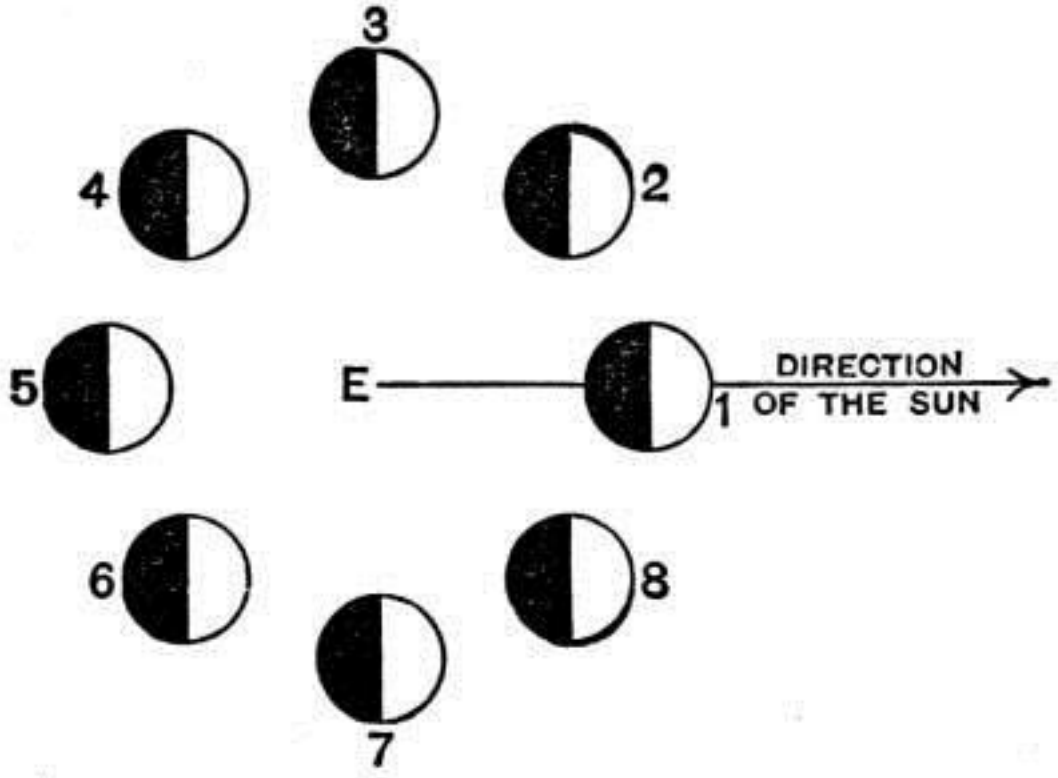


Рис. 10. Фазы Луны.

Затем Аристотель утверждает, что поскольку одно небесное тело сферическое, то и остальные должны быть такими же, и подкрепляет этот вывод другим аргументом, столь же неубедительным для нас, о том, что сферическая форма соответствует телам, движущимся так, как это, по-видимому, делают небесные тела.

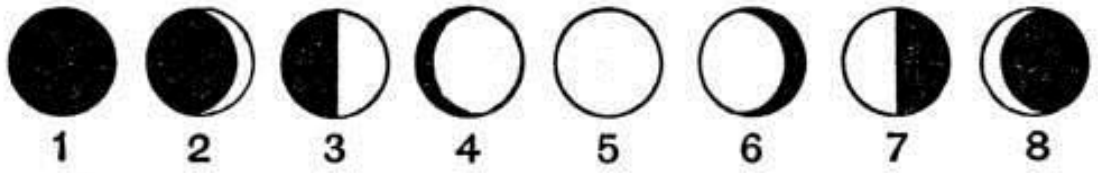


Рис. 11. Фазы Луны.

29. Его доказательства того, что земля сферическая, более интересны. Обсудив и отвергнув различные другие предложенные формы, он указывает, что лунное затмение вызвано тенью от земли, отбрасываемой солнцем, и исходя из круглой формы границы тени, видимой на поверхности Луны во время прохождения затмения или при частичном затмении, утверждает, что земля должна быть сферической; в противном случае она отбрасывала бы тень другой формы. Вторая причина сферической формы земли заключается в том, что когда мы движемся на север и юг, звезды меняют свое положение относительно горизонта, а некоторые даже исчезают и их место занимают новые. Это показывает, что направление звезд изменилось по сравнению с горизонтом наблюдателя; следовательно, на фактическое направление звезд

незаметно влияет любое движение наблюдателя на земле, горизонты в двух местах, к северу и югу друг от друга, находятся в разных направлениях, и поэтому земля искривлена. Например, если звезда видна наблюдателю в точке А (рис. 12), в то время как для наблюдателя в точке В она в то же время невидима, *то есть* скрыта землей, то поверхность земли в точке А должна находиться в направлении, отличном от направления в точке Б. Далее Аристотель цитирует, в подтверждение округлости земли, что путешественники с дальнего Востока и дальнего Запада (практически Индия и Марокко) одинаково сообщали о присутствии слонов, откуда можно сделать вывод, что два рассматриваемых региона находятся не очень далеко друг от друга. Он также использует некоторые довольно неясные аргументы *априорного* характера.

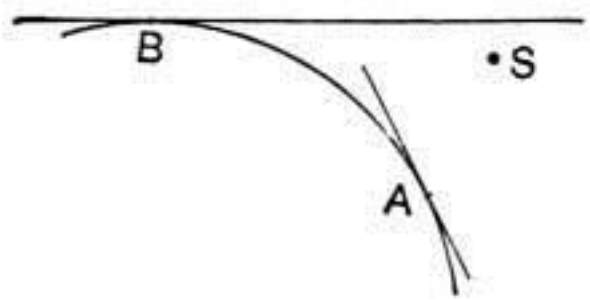


Рис. 12.Кривизна земли.

Не может быть никаких сомнений в том, что готовность, с которой Аристотель, как и другие греки, признавал сферическую форму земли и небесных тел, объяснялась привязанностью, которую греки, по-видимому, всегда испытывали к кругу и сфере как к “совершенным”,*то есть* идеально симметричным фигурам.

30. Аристотель возражает против возможности обращения земли вокруг Солнца на том основании, что это движение, если бы оно существовало, должно было бы вызывать соответствующее видимое движение звезд. Здесь мы имеем первое появление одного из самых серьезных из многих возражений, когда-либо выдвигавшихся против веры в движение Земли, возражение, действительно, окончательно устраненное только в нынешнем столетии открытием, что такое движение звезд можно увидеть в нескольких случаях, хотя из-за почти невообразимо большого расстояния от звезд это движение незаметно за исключением чрезвычайно утонченных методов наблюдения (ср. глава XIII, § § 278, 279). Также обсуждается вопрос о расстояниях между несколькими небесными телами, и Аристотель приходит к выводу, что планеты находятся дальше, чем солнце и луна, подтверждая свою точку зрения своим наблюдением за затенением Марса Луной (*т.е.* прохождение Луны перед Марсом), а также тем фактом, что аналогичные наблюдения были сделаны египтянами и вавилонянами в отношении других планет. Однако трудно понять, почему он поместил планеты за солнцем, поскольку он должен был знать, что интенсивный блеск солнца делает планеты невидимыми поблизости от него, и что никакие затенения планет солнцем на самом деле не могли быть замечены, даже если бы сообщалось, что они имели место. Он также цитирует мнение “математиков” о том, что звезды должны быть по крайней мере в девять раз дальше от солнца.

В трудах Аристотеля также содержится ряд астрономических рассуждений, не основанных на твердых доказательствах и не имеющих большой ценности; таким образом, среди других вопросов он обсуждает природу комет, Млечного Пути и звезд, почему звезды мерцают и причины, вызывающие различные небесные движения.

В астрономии, как и в других предметах, Аристотель, по-видимому, собрал и систематизировал лучшие знания того времени; но его первоначальный вклад не только несопоставим с его вкладом в ментальные и моральные науки, но и уступает по ценности его работам в других естественных науках, *например,* естественной истории. К сожалению, греческая астрономия его времени, все еще находившаяся в неразвитом состоянии, была как бы выкристаллизована в его трудах, и на его великий авторитет ссылались столетия спустя сравнительно неразумные или невежественные ученики в поддержку доктрин, которые были достаточно правдоподобны в его время, но которые, как показали последующие исследования, оказались несостоятельными. Совет, который он дает своим читателям в начале своего изложения движения планет, сравнить его взгляды с теми, к которым они пришли сами или с которыми они встречались в других местах, мог бы быть с пользой принят к сведению и которому последовали многие так называемые аристотелианцы Средних веков и эпохи Возрождения.16

31. После Аристотеля центр греческой научной мысли переместился в Александрию. Основанная Александром Македонским (который какое-то время был учеником Аристотеля) в 332 году до нашей эры, Александрия была столицей Египта во времена правления сменявших друг друга Птолемеев. Эти короли, особенно второй из них, по имени Филадельф, были покровителями науки; они основали знаменитый музей, в котором находились великолепная библиотека и обсерватория, и Александрия вскоре стала домом для выдающихся математиков и астрономов. В течение следующих пяти столетий единственными значимыми астрономами, за большим исключением Гиппарха (§ 37), были александрийцы.

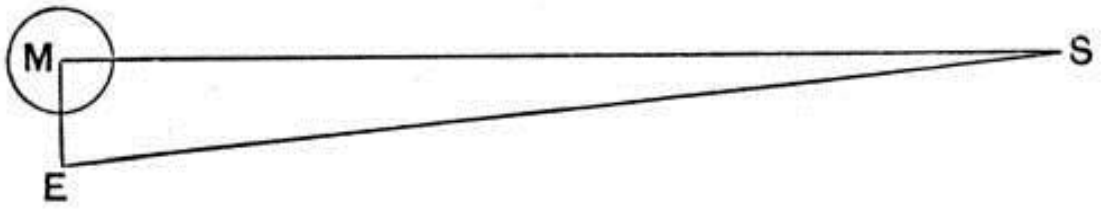


Рис. 13. Метод Аристарха для сравнения расстояний до солнца и Луны.

32. Среди ранних представителей александрийской школы были *Аристарх* Самосский, *Аристилл* и *Тимохарис*, три почти современных астронома, принадлежащие к первой половине III века до н.э. Взгляды Аристарха на движение земли уже упоминались (§ 24). До наших дней сохранился его трактат *О величинах и расстояниях Солнца и Луны*: в нем он предлагает чрезвычайно остроумный метод определения сравнительных расстояний Солнца и Луны. Если на рисунке E, S и M обозначают соответственно центры земли, солнца и Луны, то луна, очевидно, кажется наблюдателю наполовину полной, когда угол Em S равен прямому углу. Если в этом случае измеряется угловое расстояние между центрами солнца и луны, *т.е.* угол M E S, то известны два угла треугольника M E S; следовательно, его форма полностью определена, и отношение его сторон E M, E S может быть вычислено без особых трудностей. Фактически, поскольку известно (из хорошо известного результата в элементарной геометрии), что углы в точках E и S вместе равны прямому углу, угол в точке S получается путем вычитания угла S Em из прямого угла. Аристарх определил угол при S примерно в 3 ° и, следовательно, вычислил, что расстояние до солнца в 18-20 раз больше расстояния до Луны, тогда как на самом деле солнце примерно в 400 раз дальше Луны. Огромная ошибка связана с трудностью определения с достаточной точностью момента, когда луна наполовину полна: граница, разделяющая светлую и темную части лунного лика, в действительности (из-за неровностей на поверхности Луны)

представляет собой нечеткую и ломаную линию (см. рис. 53 и фронтиспис), так что наблюдение, на котором Аристарх основывал свою работу, не могло быть сделано с какой-либо точностью даже с помощью наших современных инструментов, не говоря уже о тех, которые были доступны в его время. Далее Аристарх оценил видимые размеры солнца и Луны примерно равными (как показано, например, при солнечном затмении, когда луна иногда более чем скрывает поверхность солнца, а иногда и не совсем закрывает ее), и правильно вывел, что реальные диаметры солнца и Луны пропорциональны их расстояниям. Методом, основанным на наблюдениях за затмениями, который впоследствии был разработан Гиппархом (§ 41), было получено расстояние 1/3 от земли, результат, очень близкий к истине; и тот же метод предоставил данные, из которых расстояние до Луны можно было сразу выразить в терминах радиуса земли, но на данный момент его работа была испорчена крайне неточной оценкой видимого размера Луны (2 ° вместо 1/2 °), и его выводы, похоже, противоречат друг другу. Он, по-видимому, также считал, что расстояние до неподвижных звезд неизмеримо велико по сравнению с расстоянием до солнца. Таким образом, как его умозрительные суждения, так и фактические результаты знаменуют решительный прогресс в астрономии.

Тимохарис и Аристилл были первыми, кто установил и записал положения главных звезд посредством численных измерений их расстояний от фиксированных положений на небе; таким образом, их можно рассматривать как авторов первого настоящего звездного каталога, в то время как более ранние астрономы пытались установить положение звезд только с помощью более или менее расплывчатых словесных описаний. Они также провели ряд ценных наблюдений за планетами, солнцем и т.д., которыми последующие астрономы, в частности Гиппарх и Птолемей, смогли с пользой воспользоваться.

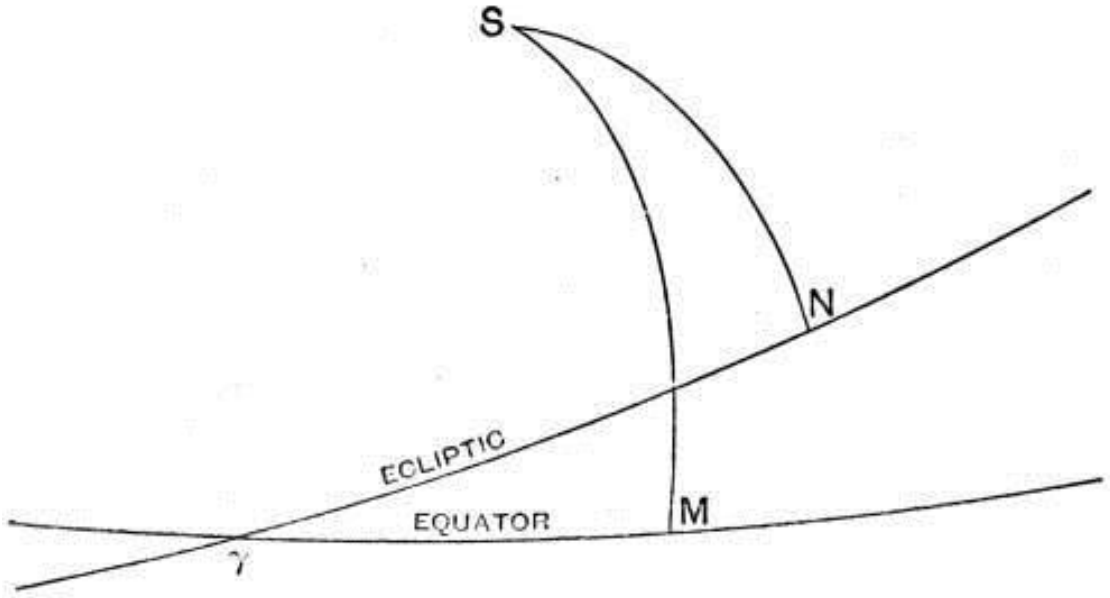


Рис. 14. Экватор и эклиптика.

33. К числу важных вкладов греков в астрономию следует отнести развитие, главным образом с математической точки зрения, следствий вращения небесной сферы и некоторых более простых движений небесных тел, развитие, отдельные этапы которого трудно проследить. Однако у нас есть серия второстепенных трактатов или учебников, написанных по большей части в александрийский период, посвященных этой области предмета (обычно известной

как**Сферика**, или Учение о сфере), хорошим примером которых являются *Явления* знаменитого геометра *Евклида* (около 300 г. до н.э.). В дополнение к уже упомянутым точкам и окружностям сферы (глава I., §§ 8-11), мы теперь находим явно распознаваемый **горизонт**, или большой круг, в котором горизонтальная плоскость через наблюдателя встречается с небесной сферой, и его**полюс**,17 **зенит**,18 или точку на небесной сфере вертикально над наблюдателем; **вертикали**, или большие круги через зенит, встречающиеся с горизонтом под прямым углом; и**круги склонения**, которые проходят через северный и южный полюса и пересекают экватор под прямым углом . Другим важным большим кругом был **меридиан**, проходящий через зенит и полюса. Был замечен хорошо известный Млечный Путь, который считался образующим еще один большой круг. Имеются также следы двух основных методов, широко используемых в настоящее время для указания положения звезды на небесной сфере, а именно, путем привязки либо к экватору, либо к эклиптике. Если через звезду S мы проведем на сфере часть большого круга Sn, пересекающего эклиптику ♈N под прямым углом в N, и другой большой круг (круг склонения), пересекающий экватор в точке M, и если ♈будет первой точкой Овна (§ 13), где эклиптика пересекает экватор, то положение звезды полностью определяется *либо* длинами дуг ♈N, Ns, которые называются **небесной долготой** и **широтой** соответственно, *или* дугами ♈M, M S, называется соответственно **прямым восхождением** и **склонением**.19 Для некоторых целей удобнее определять положение звезды первым способом, *т.е.* по отношению к эклиптике; для других целей вторым способом, используя экватор.

34. Одним из применений Сфер было изготовление солнечных часов, которые, как предполагалось, первоначально были завезены в Грецию из Вавилона, но которые были значительноусовершенствованы греками и широко использовались как в греческие, так и в средневековые времена. Правильная градуировка солнечных часов, расположенных в различных положениях, горизонтальных, вертикальных и наклонных, требовала значительных математических навыков. Большое внимание было также уделено времени восхода и захода различных созвездий и подобным вопросам.

35. Открытие сферической формы земли привело к научному объяснению различий между временами года в разных частях земли и соответствующему разделению земли на зоны. Мы уже видели, что высота полюса над горизонтом варьируется в разных местах, и что было признано, что, если путешественник отправится достаточно далеко на север, он обнаружит, что полюс совпадает с зенитом, тогда как, отправившись на юг, он достигнет области (не очень далеко за пределами реальных греческих путешествий), где полюс будет находиться на горизонте и экватор, следовательно, пройдет через зенит; в регионах, расположенных еще дальше на юг, северный полюс будет постоянно невидим, а южный появится над горизонтом.

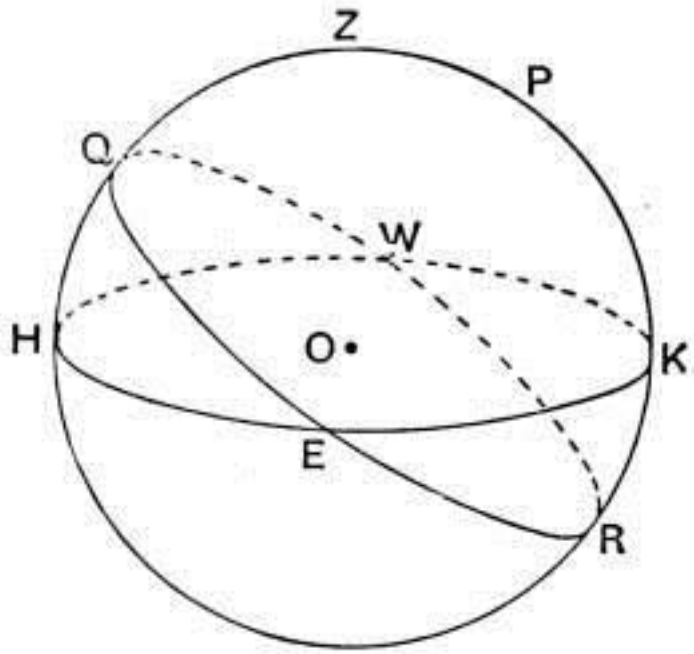


Рис. 15. Экватор, горизонт и меридиан.

Далее, если на рисунке H E K W представляет горизонт, пересекающийся с экватором Q E R W в восточной и западной точках Ew, и с меридианом H Q Z P K в южной и северной точках H и K, где Z - зенит, а P - полюс, то легко увидеть, что Q Z равно P K, высоте полюса над горизонтом. Следовательно, любое небесное тело, расстояние которого от экватора к северу (склонение) меньше Pk, пересечет меридиан к югу от зенита, тогда как если его склонение больше Pk, оно пересечет меридиан к северу от зенита. Теперь наибольшее расстояние солнца от экватора равно углу между эклиптикой и экватором, или примерно 23-1/ 2 °, следовательно, в местах, где высота полюса меньше 23-1/ 2 °, солнце в течение части года будет отбрасывать тени в полдень на юг. Было известно, что на самом деле это имело место не очень далеко к югу от Александрии. Аналогичным образом было признано, что по другую сторону экватора должна быть область, в которой солнце обычно отбрасывает тени на юг, но иногда и на север. Эти два региона являются самыми жаркими зонами для современных географов.

Опять же, если расстояние солнца от экватора составляет 23-1/2 °, то его расстояние от полюса составляет 66-1/2 °; следовательно, в регионах, расположенных так далеко к северу, что высота Pk северного полюса превышает 66-1/2 °, солнце летом переходит в область циркумполярных звезд, которые никогда не заходят (глава I., § 9), и поэтому в течение части лета солнце постоянно остается над горизонтом. Точно так же в тех же регионах солнце зимой находится так близко к южному полюсу, что какое-то время оно постоянно остается за горизонтом. Регионы, в которых это происходит (наши арктические регионы), были неизвестны греческим путешественникам, но астрономы ясно указали на их существование.

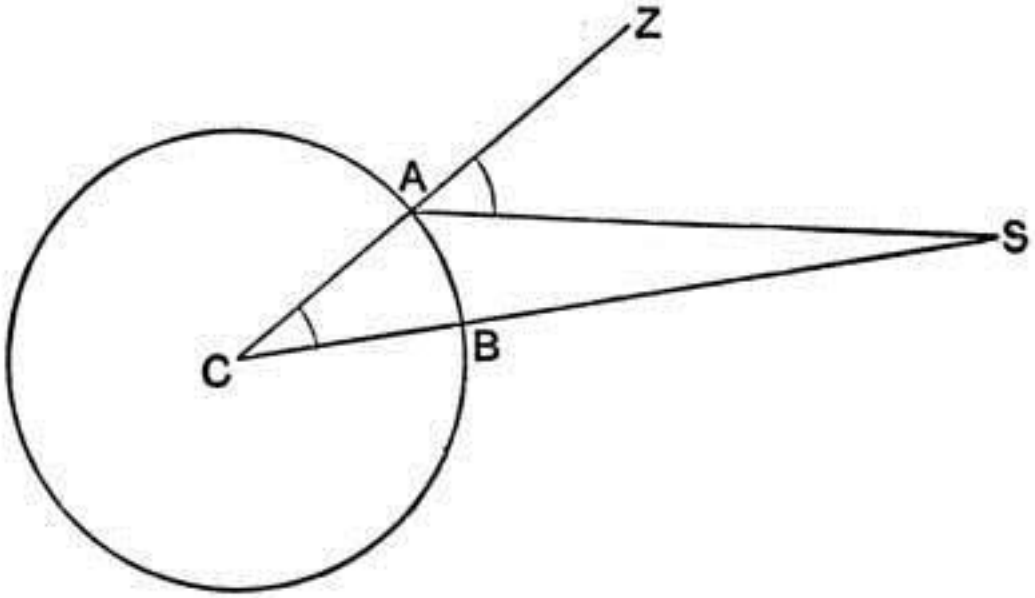


Рис. 16.Измерение земли.

36. *Эратосфену* (276-195 или 196 гг. до н.э.), другому представителю александрийской школы, мы обязаны одной из первых научных оценок размеров земли. Он обнаружил, что в день летнего солнцестояния угловое расстояние солнца от зенита в Александрии составляло в полдень 1/50 полной окружности, или около 7 °, тогда как в Сиене в Верхнем Египте солнце, как известно, в то же время находилось вертикально. Из этого он сделал вывод, предположив, что Сиена находится прямо к югу от Александрии, что расстояние от Сиены до Александрии также составляло 1/50 окружности земли. Таким образом, если на рисунке S обозначает солнце, A и B Александрию и Сиену соответственно, C - центр земли, а Az - направление зенита в Александрии, то Эратосфен оценил угол Sa Z, который из-за большого расстояния в S практически равен углу Sc A, равным 7 °, и, следовательно, вывел, что дуга Ab относится к окружности земли в соотношении 7 ° к 360 ° или 1 к 50. Расстояние между Александрией и Сиеной, поскольку известно, что оно составляет 5000 *стадиев*, Эратосфен, таким образом, получил 250 000 стадиев в качестве оценки окружности земли, число, измененное на 252 000, чтобы дать точное количество стадиев (700) для каждого градуса на земле. Очевидно, что использованные данные были приблизительными, хотя принцип метода совершенно обоснован; однако трудно оценить правильность результата из-за неопределенности в отношении стоимости используемого*стадиона*. Если, как представляется вероятным, это был обычный олимпийский стадион, то результат составляет около 20 процентов. слишком велик, но согласно другой интерпретации20 результат составляет менее 1 процента. по ошибке (см. главу X., § 221).

Другим измерением, сделанным Эратосфеном, был наклон эклиптики, который он оценил в 22/83 прямого угла, или 23 ° 51 ', ошибка в котором составляет всего около 7'.

37. Огромный прогресс в астрономии был достигнут *Гиппархом*, которого все компетентные критики единодушно ставят намного выше любого другого астронома древнего мира и который должен стоять бок о бок с величайшими астрономами всех времен. К сожалению, сохранилась только одна его незначительная книга, и наши знания о его творчестве почти полностью почерпнуты из трудов его великого почитателя и ученика Птолемея, который жил почти тремя

столетиями позже (§§ 46*далее.*). У нас также почти нет никакой информации о его жизни. Он родился либо в Никее в Вифинии, либо на Родосе, на этом острове он построил обсерваторию и выполнил большую часть своей работы. Нет никаких свидетельств того, что он принадлежал к александрийской школе, хотя он, вероятно, посетил Александрию и, возможно, сделал там какие-то наблюдения. Птолемей упоминает наблюдения, сделанные им в 146 году до н.э., 126 году до н.э. и во многих промежуточных датах, а также довольно сомнительное наблюдение 161 года до н.э. Следовательно, период его наибольшей активности должен был приходиться примерно на середину 2 века до н.э.

Помимо отдельных астрономических открытий, его главные заслуги перед астрономией можно разделить на четыре категории. Он изобрел или значительно развил особую отрасль математикиmatics,21 которая позволила применять процессы численных вычислений к геометрическим фигурам, будь то в плоскости или на сфере. Он провел обширную серию наблюдений, сделанных со всей точностью, какую позволяли его приборы. Он систематически и критически использовал старые наблюдения для сравнения с более поздними, чтобы обнаружить астрономические изменения, слишком медленные, чтобы их можно было обнаружить в течение одной жизни. Наконец, он систематически использовал определенную геометрическую схему (эксцентрики и, в меньшей степени, эпициклы) для представления движений солнца и Луны.

38. Заслуга предположения, что движения небесных тел могут быть более просто представлены комбинациями равномерных *круговых* движений, чем вращающимися *сферами* Евдокса и его школы (§ 26), обычно приписывается великому александрийскому математику*Аполлонию* из Перги, который жил во второй половине III века до н.э., но нет четких доказательств того, что он разработал систему в каких-либо деталях.

Учитывая важную роль, которую эта идея играла в астрономии на протяжении почти 2000 лет, возможно, стоит несколько подробнее рассмотреть теорию солнца Гиппарха, самое простое и наиболее успешное применение этой идеи.

Мы уже видели (глава I., § 10), что в дополнение к суточному движению (с востока на запад), которое оно разделяет с остальными небесными телами и которое нам нет необходимости здесь принимать в расчет, солнце совершает также ежегодное движение по небесной сфере в обратном направлении (с запада на восток) по траектории, наклоненной к экватору, которая рано была признана большой окружностью, называемой эклиптикой. Далее следует помнить, что небесная сфера, на которой, по-видимому, находится солнце, является простой геометрической фикцией, введенной для удобства; все, что дает прямое наблюдение, - это изменение направления движения солнца, и поэтому можно последовательно предположить, что солнце движется таким образом, что его расстояние от земли изменяется любым произвольным образом, при условии только, что изменения видимых размеров солнца, вызванные изменениями расстояния до него, согласуются с наблюдаемыми, или что, во всяком случае, различия недостаточно велики, чтобы быть заметными. Более того, было известно (вероятно, задолго до Гиппарха), что видимое движение солнца по эклиптике не совсем равномерное, причем в некоторые времена года движение несколько более быстрое, чем в другие.

Предположим, что у нас есть такой полный набор наблюдений за движением солнца, что мы знаем его положение изо дня в день, как мы должны приступить к работе по записи и описанию

его движения? Для практических целей нет ничего более удовлетворительного, чем метод, принятый в наших календарях, позволяющий изо дня в день определять положение солнца; после наблюдений, продолжавшихся в течение нескольких лет, было бы нетрудно убедиться, что движение солнца (с учетом неправильностей нашего календаря) из года в год остается одним и тем же, и предсказать таким образом положение солнца изо дня в день в последующие годы.

Но ясно, что такое описание было бы не только длинным, но и показалось бы неудовлетворительным любому, кто подошел бы к вопросу с точки зрения интеллектуального любопытства или научного интереса. Такой человек почувствовал бы, что эти подробные факты должны быть способны быть представлены как следствия из какого-то более простого общего утверждения.

Современный астроном добился бы этого, выразив движение солнца с помощью алгебраической формулы, *т.е.* Он представил бы скорость солнца или его расстояние от некоторой фиксированной точки на своем пути некоторым символическим выражением, представляющим величину, изменяющуюся со временем определенным образом, и позволяющую эксперту с легкостью вычислить требуемое положение солнца в любой заданный момент.22

Греки, однако, не обладали необходимыми алгебраическими знаниями для такого метода представления, и Гиппарх, подобно своим предшественникам, использовал геометрическое представление требуемых изменений движения солнца по эклиптике, метод представления, который в некоторых отношениях более понятен и нагляден, чем использование алгебры, но который становится неуправляемым в сложных случаях. Более того, это сопряжено с риском быть принятым за механизм. Естественно, можно было бы подумать о круге, как о простейшей из известных кривых, и поскольку любое движение, отличное от равномерного, само по себе потребовало бы специального представления, идея Аполлония, принятая Гиппархом, заключалась в разработке надлежащей комбинации равномерных круговых движений.

39. Простейшим устройством, которое было признано удовлетворительным в случае с солнцем, было использование **эксцентрика**, *т.е.* окружности, центр которой (C) не совпадает с положением наблюдателя на земле (E). Если на рис. 17 точка S описывает эксцентричную окружность Af Gb равномерно, так что она всегда проходит по равным дугам окружности за равное время, и угол Ac S равномерно увеличивается, тогда очевидно, что угол Ae S, или видимое расстояние S от A, увеличивается неравномерно. Когда S находится вблизи точки A, наиболее удаленной от земли и, следовательно, называемой **апогеем**, кажется, что из-за большего расстояния от наблюдателя она движется медленнее, чем вблизи F или G; и кажется, что она движется быстрее, когда находится вблизи B, точки, ближайшей к E, поэтому называемой **перигеем**. Таким образом, движение S изменяется таким же образом, как и движение солнца, наблюдаемое на самом деле. Однако, прежде чем эксцентриситет можно было считать удовлетворительным, необходимо было показать, что можно выбрать направление линии B E Ca (**линия апсид**), которая определяет положения солнца при быстром и при медленном движении, и величину отношения Ec к радиусу Ca окружности (**эксцентриситет**), чтобы расчетные положения солнца на различных участках его пути отличались от наблюдаемых положений в соответствующие времена года на величины настолько малые, что они могли бы быть достаточно малыми. быть отнесенным к ошибкам наблюдения.

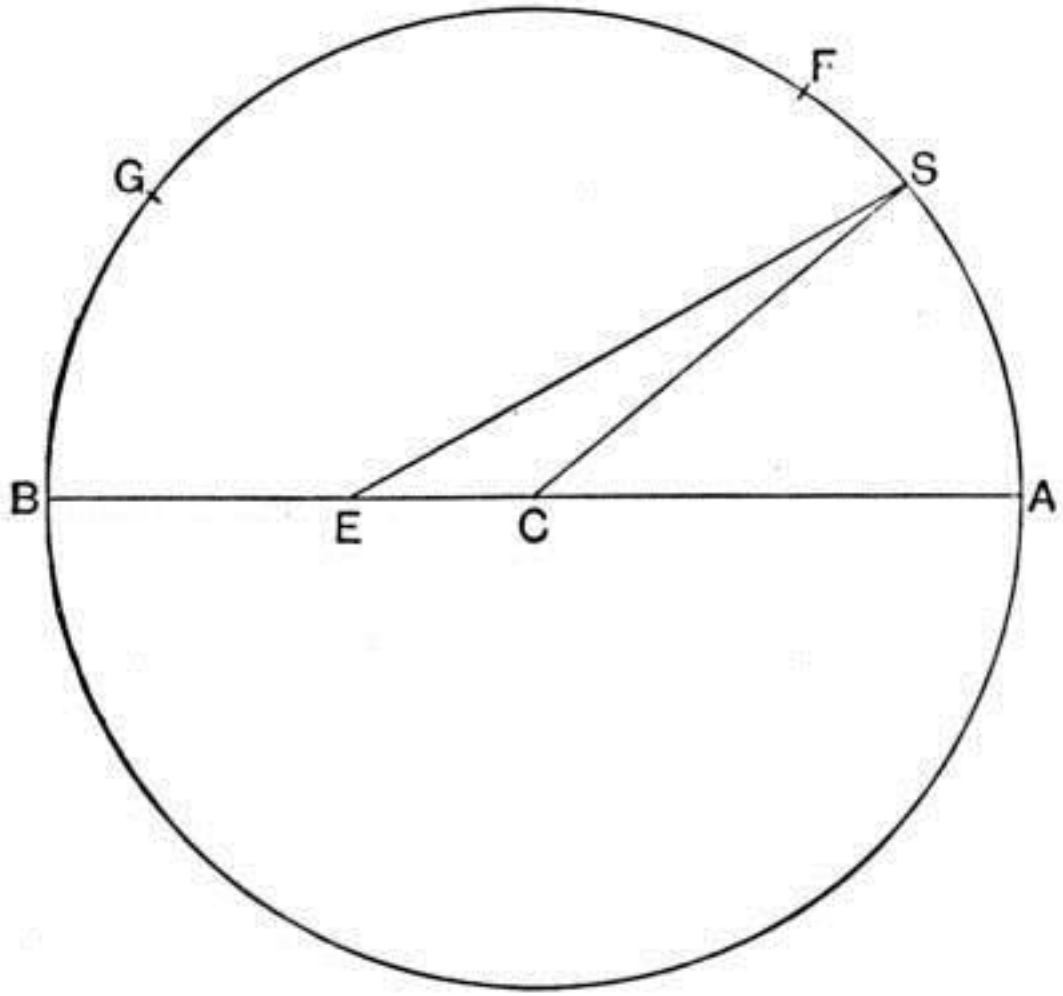


Рис. 17.—Эксцентрик.

Эта проблема была гораздо сложнее, чем могло показаться на первый взгляд, из-за больших трудностей, с которыми сталкивались во времена Греции и долгое время спустя при проведении удовлетворительных наблюдений солнца. Поскольку солнце и звезды видны не одновременно, невозможно непосредственно измерить расстояние солнца от соседних звезд и таким образом определить его место на небесной сфере. Но можно, измеряя длину тени, отбрасываемой стержнем в полдень, с достаточной точностью определить высоту солнца над горизонтом и, следовательно, определить его расстояние от экватора или склонение (рис. 3, 14). Одной этой величины недостаточно для определения положения солнца, но если также можно точно установить прямое восхождение солнца (§ 33) или его расстояние к востоку и западу от звезд, то его место на небесной сфере полностью определено. Однако методы, доступные для определения этой второй величины, были очень несовершенными. Один из методов состоял в том, чтобы отметить время между прохождением солнца через некоторое фиксированное положение на небе (*например,* меридиан) и прохождением звезды через то же место и, таким образом, определить угловое расстояние между ними (известно, что небесная сфера поворачивается на 15 ° за час), метод, который для современных часов чрезвычайно точен, но для грубых водяных часов или песочных часов прежних времен был очень ненадежным. В

другом методе луна использовалась как связующее звено между солнцем и звездами, ее положение относительно последнего наблюдалось ночью, а относительно первого - днем; но из-за быстрого движения луны в промежутке между двумя наблюдениями этот метод также не отличался высокой точностью.

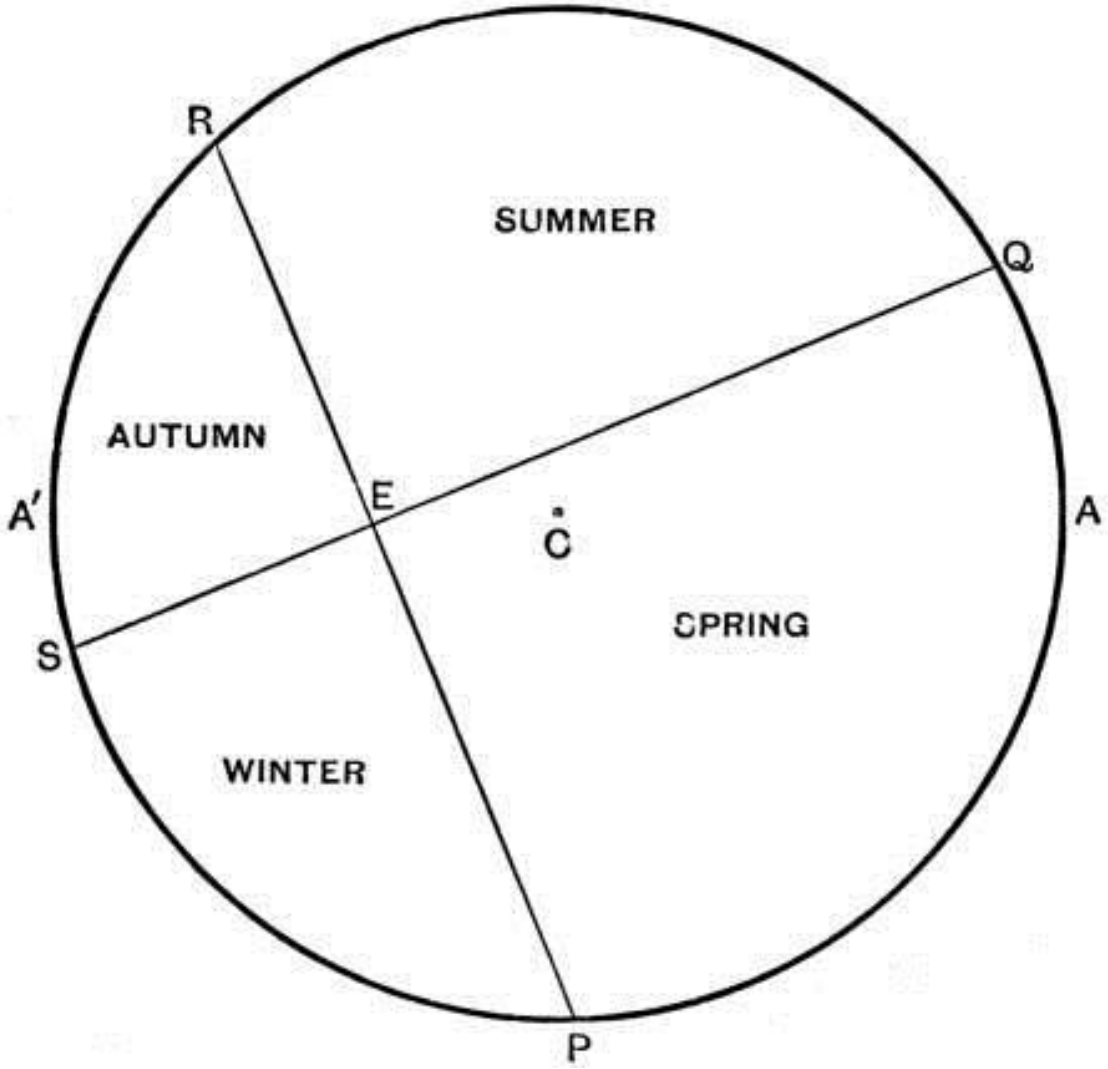


Рис. 18.Положение апогея солнца.

В случае конкретной проблемы определения линии апсид Гиппарх использовал другой метод, и его мастерство поразительным образом подтверждается его признанием того, что как эксцентриситет, так и положение линии апсид могут быть определены на основе знания продолжительности двух сезонов года, *т.е.* интервалов, на которые год делится солнцестояниями и равноденствиями (§ 11). С помощью своих собственных наблюдений и других, сделанных его предшественниками, он установил, что продолжительность весны (от весеннего равноденствия до летнего солнцестояния) составляет 94 дня, а лета (от летнего солнцестояния до осеннего равноденствия) - 92-1/ 2 дня, продолжительность года - 365-1/4 дня. Поскольку солнце движется в каждое время года на одно и то же угловое расстояние, под прямым углом, и поскольку весна и лето составляют вместе более половины года, а весна длиннее лета, из этого следует, что солнце весной в целом должно двигаться медленнее, чем в

любое другое время года, и что, следовательно, весной оно должно проходить через апогей. Следовательно, если на рис. 18 мы проведем две перпендикулярные линии Q E S, P E R для обозначения направлений движения солнца в дни солнцестояний и равноденствий, P соответствующие весеннему равноденствию, а R - осеннему равноденствию, то апогей должен находиться в некоторой точке A между P и Q. Столь многое можно увидеть без какой-либо математики: фактический расчет положения точки A и эксцентриситета представляет собой вопрос определенной сложности. Было обнаружено, что угол P E A составляет около 65 °, так что солнце пройдет через свой апогей примерно в начале июня; а эксцентриситет был оценен в 1/24.

Поскольку движение, таким образом, было представлено геометрически, построение таблицы, из которой можно было легко вывести положение солнца на любой день в году, стало всего лишь вопросом не очень сложных вычислений. Это было сделано путем вычисления так называемого**уравнения центра**, угла C S E на рис. 17, который представляет собой превышение фактической долготы солнца над долготой, которую оно имело бы, если бы двигалось равномерно.

Из-за несовершенства используемых наблюдений (Гиппарх подсчитал, что на время равноденствий и солнцестояний можно было полагаться только с точностью примерно до половины дня), фактически полученные результаты, согласно современным представлениям, были не очень точными, но теория отражала движение солнца с точностью, примерно такой же, как и наблюдения. Стоит отметить, что с помощью той же теории, но с улучшенным значением эксцентриситета, движение солнца может быть представлено настолько точно, что ошибка никогда не превышает примерно 1', величины, незаметной невооруженным глазом.

Теория Гиппарха представляет изменения расстояния до солнца с гораздо меньшей точностью, и хотя на самом деле угловой диаметр солнца меняется примерно на 1/30 часть самого себя, или примерно на 1' в течение года, это изменение, согласно Гиппарху, должно быть примерно в два раза больше. Но эта ошибка также была бы совершенно незаметна с помощью его приборов.

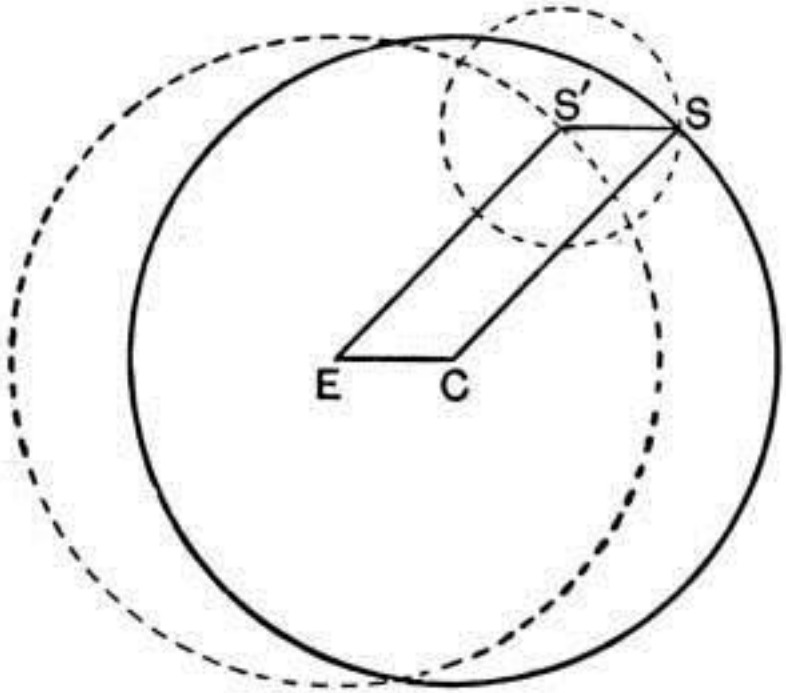


Рис. 19. Эпицикл и деферент.

Гиппарх увидел, что движение солнца можно с таким же успехом представить с помощью другого устройства, предложенного Аполлонием, -**эпицикла**. Предполагается, что тело, движение которого должно быть представлено, равномерно движется по окружности одного круга, называемого эпициклом, центр которого, в свою очередь, движется по другому кругу, называемому**обратным**. На самом деле очевидно, что если в качестве отступающей принять окружность, равную эксцентриситету, но с центром в точке E (рис. 19), и если S' принять при этом так, что Es' параллельна Cs, то S'S параллельна и равна Ec; и что, следовательно, солнце S, равномерно движущееся по эксцентриситету, с таким же успехом можно рассматривать как лежащее на окружности радиуса S'S, центр S' которой движется по отступающей. Фактически, в этой конкретной задаче эти две конструкции приводят к одному и тому же результату, и Гиппарх выбрал эксцентричную, как более простую.

40. Движение Луны, будучи гораздо более сложным, чем движение солнца, всегда представляло трудности для астрономов,23 и Гиппарх требовал для этого более сложной конструкции. Однако, прежде чем обсуждать его теорию, необходимо некоторое дальнейшее описание движения Луны.

Мы уже говорили (глава I., § 16) о лунном месяце как о периоде, в течение которого луна возвращается в прежнее положение по отношению к солнцу; точнее, об этом периоде (около 29-1/ 2 дней) говорят как о **лунном месяце** или **синодическом месяце**: однако, поскольку солнце движется по небесной сфере на восток подобно луне, но медленнее, луна возвращается в то же положение по отношению к*звездам* за несколько более короткое время; этот период (около 27 дней 8 часов) известен как **звездный месяц**. Опять же, траектория Луны на небесной сфере слегка наклонена к эклиптике и может рассматриваться приблизительно как большой круг, пересекающий эклиптику в двух**узлах**, под углом, который Гиппарх, вероятно, был первым, кто определенно установил примерно в 5 °. Более того, траектория Луны всегда меняется таким

образом, что при почти постоянном наклоне к эклиптике (см. главу V.,§ 111) узлы медленно перемещаются назад (с востока на запад) вдоль эклиптики, совершая полный оборот примерно за 19 лет. Поэтому периоду (около 27 дней 5 часов), в течение которого луна возвращается в прежнее положение относительно узлов, удобно дать специальное название -**драконий месяц**,24.

Опять же, движение Луны, как и солнца, неравномерно, вариации больше, чем в случае солнца. Гиппарх, по-видимому, был первым, кто обнаружил, что часть лунного пути, на которой движение наиболее быстрое, не всегда находится в одном и том же положении на небесной сфере, а движется непрерывно; или, другими словами, что линия апсид (§ 39) лунного пути движется. Это движение - шаг вперед, и полный цикл будет описан примерно за девять лет. Отсюда возникает четвертый вид месяцев,**аномальный месяц**, который представляет собой период, в течение которого луна возвращается в апогей или перигей.

Гиппарху принадлежит заслуга в том, что он установил с большей точностью, чем раньше, продолжительность каждого из этих месяцев. Чтобы определить их с точностью, он осознал важность сравнения наблюдений Луны, сделанных на как можно большем расстоянии по времени, и увидел, что наиболее удовлетворительные результаты могут быть получены при использовании халдейских и других наблюдений затмений, которые, поскольку затмения происходят только вблизи узлов Луны, были одновременными записями положения луны, узлов и солнца.

Чтобы представить этот сложный набор движений, Гиппарх использовал, как и в случае с солнцем, эксцентрик, центр которого описывал круг вокруг земли примерно за девять лет (что соответствует движению апсид), причем плоскость эксцентрика была наклонена к эклиптике под углом 5 ° и скользила назад, чтобы представить движение уже описанных узлов.

Однако результат не мог быть таким удовлетворительным, как в случае с солнцем. Изменение скорости движения Луны не только больше, чем в случае с солнцем, но и подчиняется менее простому закону и не может быть адекватно представлено с помощью одного эксцентриситета; так что, хотя работа Гиппарха должна была бы с достаточной точностью отобразить движение Луны в определенных частях ее орбиты, в других местах обязательно должны были быть расхождения между рассчитанными и наблюдаемыми местами. Есть некоторые указания на то, что Гиппарх знал об этом, но не смог реконструировать свою теорию таким образом, чтобы объяснить их.

41. В случае с планетами Гиппарх обнаружил столь малый запас удовлетворительных наблюдений своих предшественников, что он не делал попыток построить систему эпициклов или эксцентриситетов для представления их движения, но собрал свежие наблюдения для использования своими преемниками. Он также использовал эти наблюдения для определения с большей точностью, чем раньше, среднего времени обращения нескольких планет.

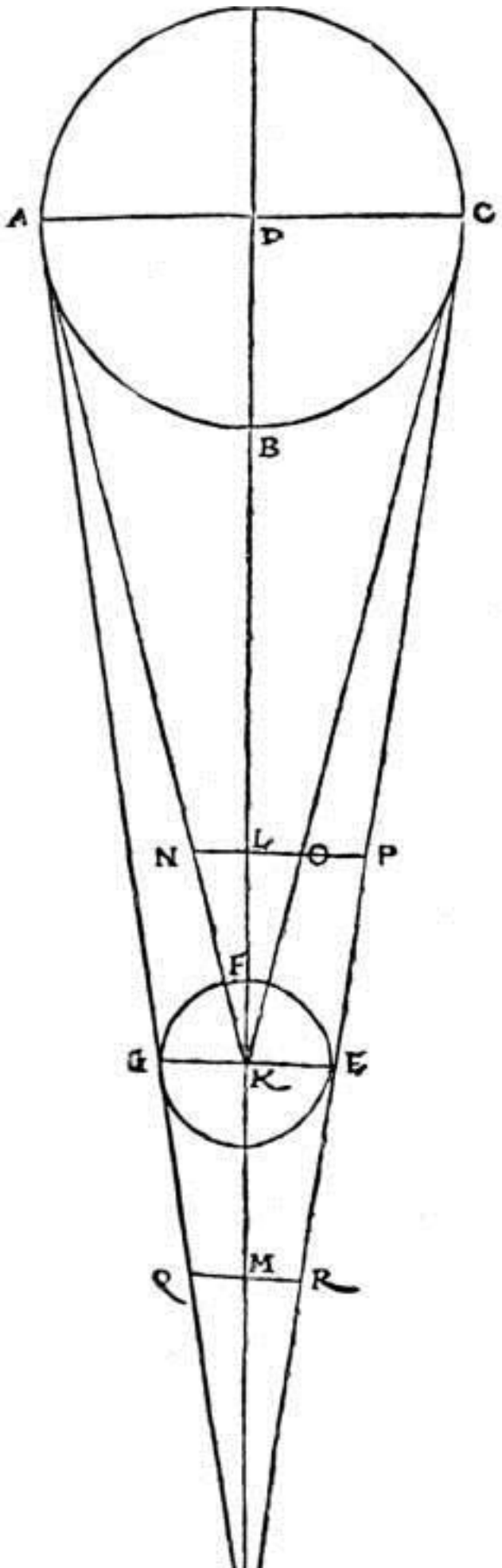

A
C
D
B
N
L
O
P
F
G
K
E
M
Q
R

Рис. 20. Метод соединения расстояний Солнца и Луны при затмении.

Он также произвел удовлетворительную оценку размера и расстояния до Луны с помощью метода затмений, основная идея которого принадлежит Аристарху (§ 32); наблюдая угловой диаметр земной тени (Qr) на расстоянии Луны во время затмения и сравнивая его с известными угловыми диаметрами солнца и Луны, он простым вычислением получил 25 соотношение между расстояниями до солнца и Луны, которое дает либо то, когда известно другое. Гиппарх знал, что солнце находится намного дальше Луны, и, по-видимому, пробовал не одно расстояние, в том числе расстояние Аристарха, и полученный результат в каждом случае показывал, что расстояние до Луны почти в 59 раз превышает радиус Земли. Объединяя оценки Гиппарха и Аристарха, мы находим, что расстояние до солнца примерно в 1200 раз превышает радиус Земли — число, которое оставалось практически неизменным на протяжении многих столетий (глава VIII, § 161).

42. Говорят, что появление в 134 году до н.э. новой звезды в созвездии Скорпиона натолкнуло Гиппарха на мысль составить новый каталог звезд. Он включил 1080 звезд и не только дал (небесную) широту и долготу каждой звезды, но и разделил их в соответствии с их яркостью на шесть величин. Созвездия, на которые он ссылается, почти идентичны созвездиям Евдокса (§ 26), и список претерпел незначительные изменения вплоть до наших дней, за исключением добавления ряда южных созвездий, невидимых в цивилизованных странах древнего мира. Гиппарх зафиксировал также ряд случаев, когда три или более звезды оказывались на одной линии друг с другом или, точнее, лежали на одном большом круге, его целью было дать возможность последующим наблюдателям легче обнаружить возможные изменения в расположении звезд. Каталог оставался, с небольшими изменениями, стандартным на протяжении почти шестнадцати столетий (см. главу III,§ 63).

Составление этого каталога привело к примечательному открытию, вероятно, самому известному из всех, сделанных Гиппархом. Сравнивая свои наблюдения некоторых звезд с наблюдениями Тимохариса и Аристилла (§ 33), сделанными примерно на полтора столетия раньше, Гиппарх обнаружил, что их расстояния от точек равноденствия изменились. Таким образом, в случае яркой звезды Спика расстояние от точек равноденствия (измеренное в восточном направлении) увеличилось примерно на 2 ° за 150 лет, или со скоростью 48 дюймов в год. Дальнейшие исследования показали, что, хотя грубость наблюдений приводила к значительным различиям в отношении разных звезд, имелись свидетельства общего увеличения долготы звезд (измеренной с запада на восток), не сопровождавшегося каким-либо изменением широты, причем величина изменения оценивалась Гиппархом как по меньшей мере 36 дюймов в год, а возможно, и больше. Совпадения движений разных звезд было достаточно, чтобы оправдать его вывод о том, что изменение может быть объяснено не движением отдельных звезд, а скорее изменением положения точек равноденствия, от которых измерялись долготы. Теперь эти точки являются пересечением экватора и эклиптики: следовательно, та или иная из этих двух окружностей должна была измениться. Но тот факт, что широты звезд не претерпели никаких изменений, свидетельствовал о том, что эклиптика, должно быть, сохранила свое положение и что изменение было вызвано движением экватора. И снова Гиппарх измерил наклон эклиптики, как это делали некоторые из его предшественников, и результаты не показали заметных изменений. Соответственно, Гиппарх сделал вывод, что экватор как бы медленно скользит назад (*т.е.* с востока на запад), сохраняя постоянный наклон к эклиптике.

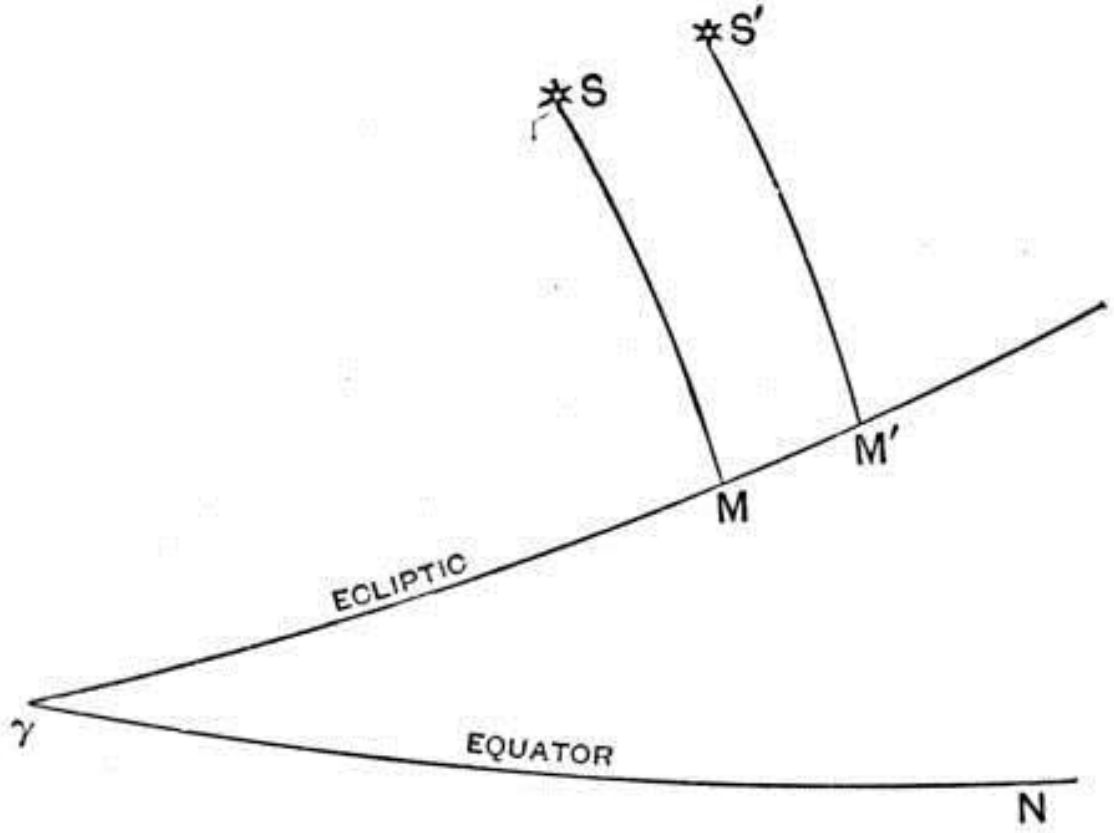


Рис. 21.Увеличение долготы звезды.

Аргументацию можно пояснить с помощью цифр. На рис. 21 пусть ♈M обозначает эклиптику, ♈N - экватор, S - звезду, видимую Тимохарисом, Sm - большой круг, проведенный перпендикулярно эклиптике. Тогда S M - широта, ♈M - долгота. Обозначим звезду S' такой, какой ее видел Гиппарх; затем он обнаружил, что S' M была равна прежней Sm, но что ♈M' было больше прежней ♈M, или что M' находилась немного восточнее M. Это изменение м м' был почти одинаковым для всех звезд, его было проще отнести его к ровному движению в противоположном направлении от точки ♈скажем, из ♈Для ♈(фиг. 22), *т. е.* при движении от экватора из ♈N для ♈- H, наклон H' ♈м остальных равных былую сумма H ♈м. Общий эффект этого изменения, ибо иначе на фиг. 23, где ♈♈'♎♎быть эклиптики, А Б В Г Д представляет собой экватор, как она выглядела в момент Timocharis, A' B' C' Д' (печатается красным) то же во времена Гиппарха, ♈,♎будучи ранее позиции двух точек равноденствия, и ♈, ♎более поздних позиций.

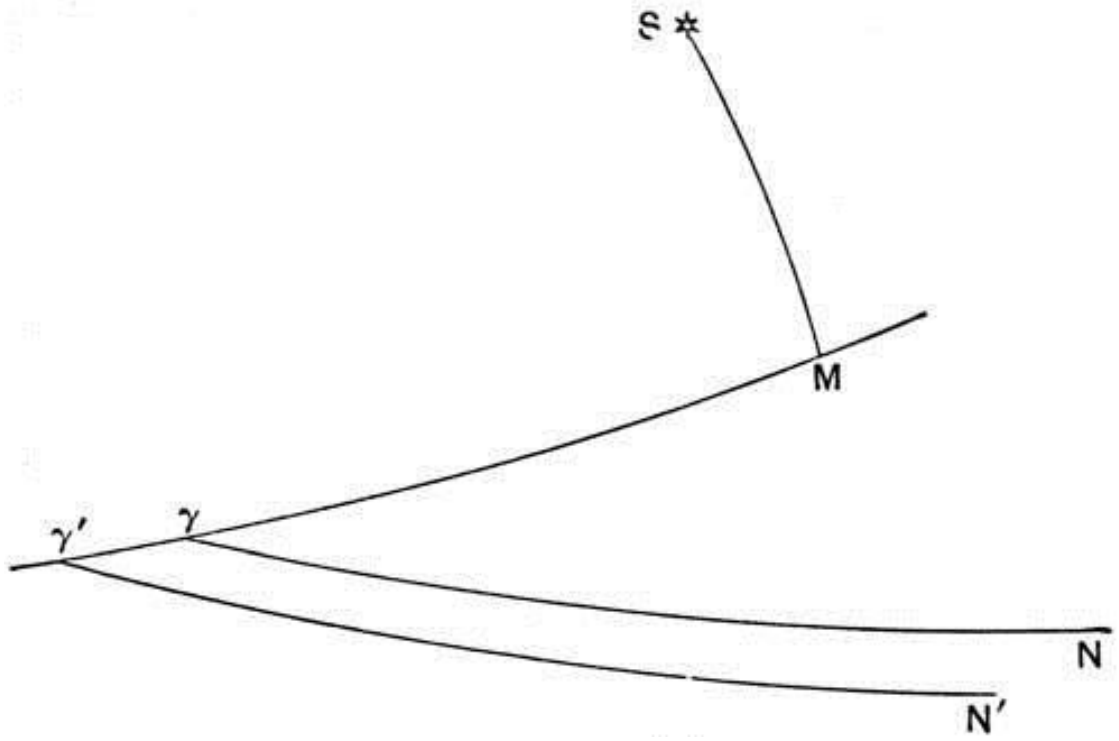


Рис. 22.Движение экватора.

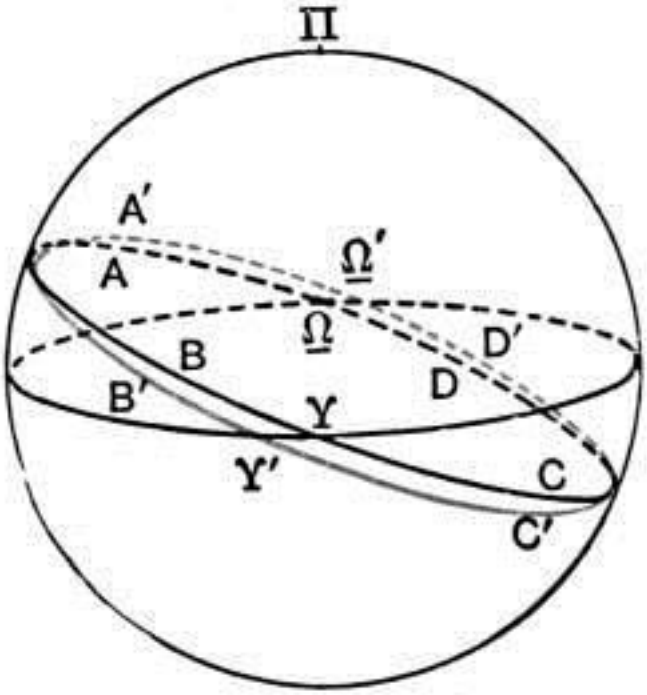


Рис. 33.— Прецессия равноденствий.

Годовое движение ♈, как уже говорилось, было оценено Гиппархом как по меньшей мере 36 дюймов (что эквивалентно одному градусу за столетие), а возможно, и больше. Его истинная стоимость значительно больше, а именно около 50".

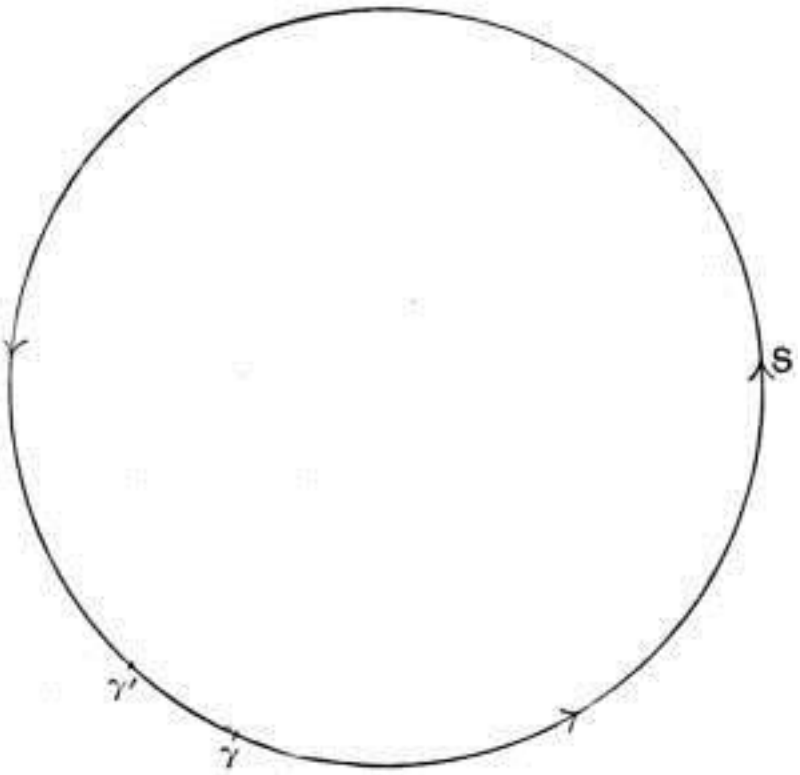


Рис. 24.— Прецессия равноденствий.

Важным следствием обнаруженного таким образом движения экватора является то, что солнце в своем ежегодном путешествии по эклиптике, стартовав из точки равноденствия, возвращается в новое положение точки равноденствия незадолго до возвращения в свое первоначальное положение относительно звезд, и последующие равноденствия наступают немного раньше, чем в противном случае. Из этого факта вытекает название**прецессия равноденствий**, или, короче, **прецессия**, которое применяется к движению, которое мы рассматривали. Следовательно, становится необходимым признать, как это сделал Гиппарх, два различных вида года: **тропический год**, или период, необходимый солнцу для возвращения в прежнее положение по отношению к точкам равноденствия, и **звездный год**, или период возвращения в прежнее положение по отношению к звездам. Если ♈♈обозначает движение точки равноденствия в течение тропического года, тогда после старта от равноденствия точка, в ♈прилетает—в конце тропический год—на новый технологический момент в ♈, но сидерический год, только когда солнце описал дугу ♈♈и возвращается к своей первоначальной отправной точкой ♈Следовательно, принимая современную оценку в 50 дюймов дуги ♈♈, солнце в звездный год описывает дугу в 360 °, в тропический год дугу меньшую на 50 дюймов, или 359 ° 59' 10 "; следовательно, длины двух лет находятся в такой пропорции, и величина, на которую звездный год превышает тропический год, соответствует тому же соотношению, что и 50 дюймов к 360 ° (или 1,296,000 дюймов), и, следовательно, составляет (365-1/ 4 × 50)/ 1296000 дней продолжительностью около 20 минут.

Другой способ выразить величину прецессии - сказать, что точка равноденствия опишет полный круг эклиптики и вернется в то же положение примерно через 26 000 лет.

Продолжительность каждого вида года также была установлена Гиппархом со значительной точностью. Значение тропического года было получено путем сравнения времен солнцестояний и равноденствий, наблюдавшихсяболее ранними астрономами, с теми, которые наблюдал он сам. Например, он обнаружил, сравнив дату летнего солнцестояния 280 года до н.э., отмеченную Аристархом Самосским, с датой 135 года до н.э., что текущая оценка продолжительности года в 365-1 / 4 дня должна быть уменьшена на 1/300 часть дня, или примерно на пять минут, и эта оценка примерно подтверждается другими случаями. Интересно отметить в качестве иллюстрации его научного метода, что он с некоторой осторожностью обсуждает возможную ошибку наблюдений и приходит к выводу, что время солнцестояния может быть ошибочным примерно на 3-4 дня, в то время как можно ожидать, что время равноденствия будет в пределах 1/4 дня от истинного. На приведенной иллюстрации это указывает на возможную ошибку в 1-1 / 2 дня за период в 145 лет, или примерно на 15 минут в году. На самом деле его оценка продолжительности года примерно на шесть минут завышена, и ошибка, таким образом, намного меньше той, которую он считал возможной. В ходе этой работы он также рассмотрел возможность изменения продолжительности года и пришел к выводу, что, хотя его наблюдения не были достаточно точными, чтобы определенно показать неизменность года, не было никаких оснований предполагать, что он изменился.

Таким образом, продолжительность тропического года оценивается в 365 дней 5 часов 55 минут, а разница между двумя видами года определяется наблюдениями прецессии, и было установлено, что звездный год превышает 365-1/ 4 дня примерно на 10 минут, результат почти точно согласуется с современными оценками. То, что сложение двух ошибочных величин, продолжительности тропического года и величины прецессии, дало такой точный результат, не было, как кажется на первый взгляд, простой случайностью. Главным источником ошибок в каждом случае являются ошибочные времена нескольких используемых равноденствий и солнцестояний, ошибки в них будут иметь тенденцию приводить к ошибкам противоположного рода в тропическом году и при прецессии, так что они будут частично компенсировать друг друга. Эта оценка продолжительности звездного года, вероятно, также была в некоторой степени подтверждена Гиппархом путем сравнения наблюдений затмений, сделанных в разные эпохи.

43. Значительные усовершенствования, внесенные Гиппархом в теории солнца и Луны, естественно, позволили ему успешнее, чем кому-либо из его предшественников, решать проблему, которая во все века представляла наибольший интерес, - предсказание солнечных и лунных затмений.

То, что лунные затмения были вызваны прохождением Луны через тень Земли, отбрасываемую солнцем, или, другими словами, положением земли между солнцем и Луной, а солнечные затмения - прохождением Луны между солнцем и наблюдателем, было прекрасно известно греческим астрономам во времена Аристотеля (§ 29) и, вероятно, намного раньше (глава I., § 17), хотя знание, вероятно, было ограничено сравнительно небольшим числом людей, и суеверные страхи долгое время были связаны с этим явлением. затмения.

Главная трудность в борьбе с затмениями связана с тем фактом, что траектория луны не совпадает с эклиптикой. Если бы путь Луны по небесной сфере совпадал с эклиптикой, то раз в месяц, в новолуние, луна (M) проходила бы точно между землей и солнцем, и последнее затмевалось бы, и также раз в месяц, в полнолуние, луна (M') находилась бы в направлении,

противоположном солнцу, если смотреть с земли, и, следовательно, была бы закрыта тенью земли.

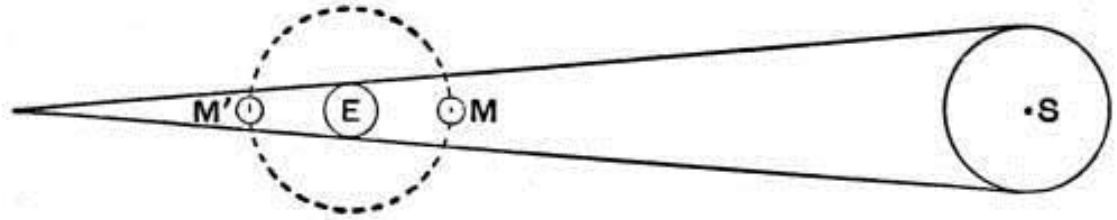


Рис. 25.Тень земли.

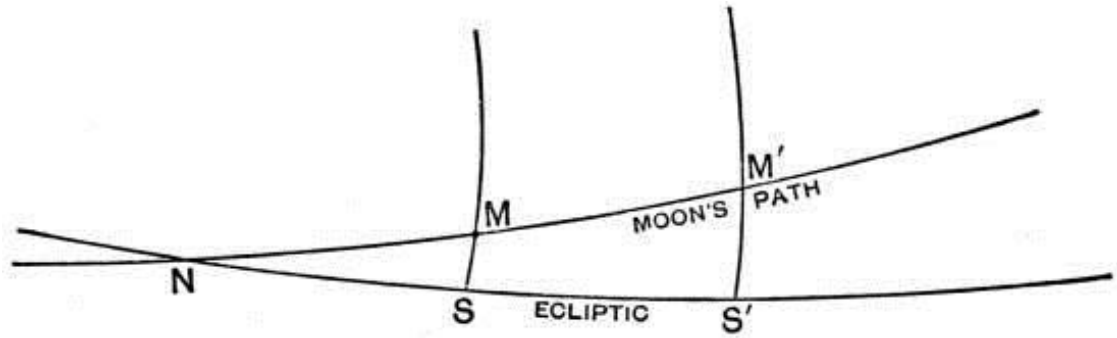


Рис. 26. Эклиптика и траектория луны.

Поскольку, однако, траектория луны наклонена к эклиптике (§ 40), широты солнца и луны могут отличаться на целых 5 °, либо когда они находятся в **соединении**, *т.е.* Когда у них одинаковые долготы, либо когда они находятся в **противостоянии**, *т.е.* когда их долготы отличаются на 180 °, и тогда они будут слишком далеко друг от друга, чтобы могло произойти затмение. Произойдет ли тогда затмение в полнолуние или новолуние или нет, будет зависеть в первую очередь от широты Луны в данный момент и, следовательно, от ее положения относительно узлов ее орбиты (§ 40). Если соединение происходит, когда солнце и луна случайно оказываются вблизи одного из узлов (N), как в точке Sm на рис. 26, солнце и луна будут настолько близко друг к другу, что произойдет затмение; но если это происходит на значительном расстоянии от узла, как в точке S' M', их центры находятся так далеко друг от друга, что затмения не происходит.

Теперь, как мы видели (§ 32), видимый диаметр солнца или Луны составляет примерно 1/2 °; следовательно, когда их диски просто соприкасаются, как на рис. 27, расстояние между их центрами также составляет примерно 1/2°. Если тогда при соединении расстояние между их центрами будет меньше этой величины, то произойдет солнечное затмение; если нет, то затмения не будет. Это легко определить с помощью расчета (на рис. 26) длина стороны N S или N M треугольника N M S, когда S M имеет это значение, и, следовательно, для определения наибольшего расстояния от узла, на котором может произойти соединение, если должно произойти затмение. Лунное затмение можно рассматривать таким же образом, за исключением того, что там нам приходится иметь дело с Луной и тенью от земли на расстоянии Луны. Однако видимый размер тени значительно превышает видимый размер Луны, и лунное затмение происходит, если расстояние между центром Луны и центром тени составляет менее примерно 1 °. Как и прежде, легко вычислить расстояние луны или центра тени от узла при

возникновении противодействия, если только что произошло затмение. Поскольку, однако, видимые размеры солнца и Луны, а следовательно, и тени земли, изменяются в зависимости от расстояний до солнца и Луны, о чем Гиппарх не имел точных сведений, расчет становится на самом деле намного сложнее, чем кажется на первый взгляд, и с ним он справлялся лишь несовершенно.

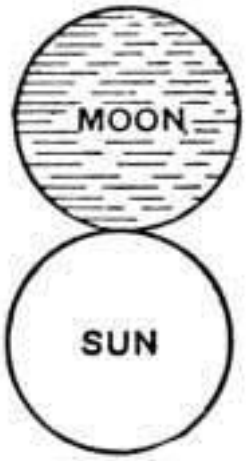


Рис. 27. Солнце и луна.

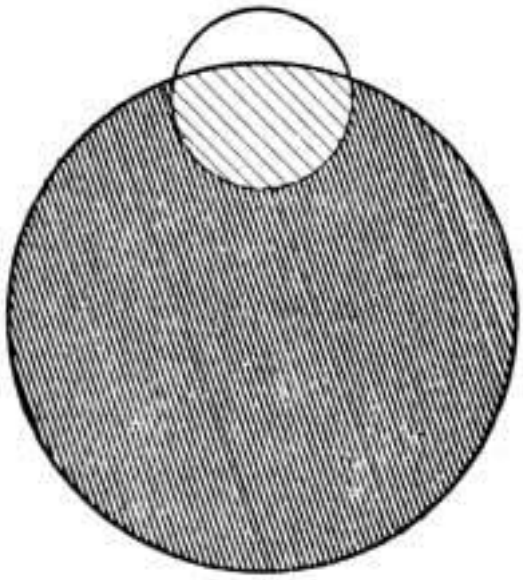


Рис. 28.Частичное затмение Луны.

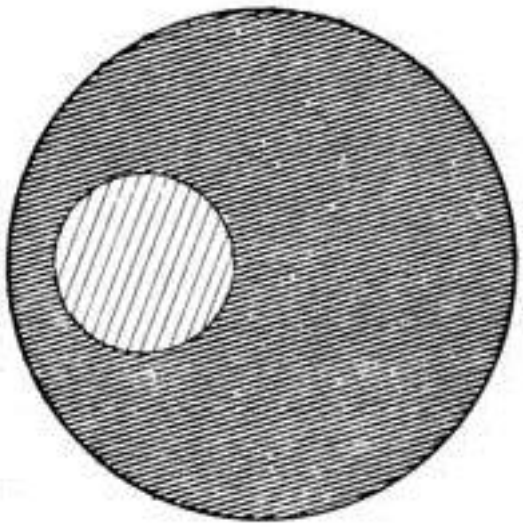


Рис. 29.Полное затмение
луны.

Лунные затмения делятся на **частичные** или **полные**, первое происходит, когда тени Луны и земли перекрываются лишь частично (как показано на рис. 28), причем последнее происходит, когда диск Луны полностью погружен в тень (рис. 29). Точно так же солнечное затмение может быть частичным или полным; но поскольку солнечный диск иногда может быть немного больше лунного, иногда случается также, что весь солнечный диск скрыт луной, за исключением узкого кольца по краю (как на рис. 30): такое затмение называется **кольцевым**. Поскольку тень Земли на расстоянии от Луны всегда больше лунного диска, кольцевые затмения Луны невозможны.

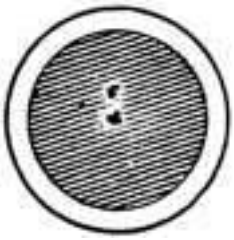


Рис. 30.Кольцевое солнечное затмение.

Таким образом, затмения происходят тогда и только тогда, когда расстояние Луны от узла во время соединения или противостояния находится в определенных пределах, приблизительно известных; и проблема прогнозирования затмений может быть грубо решена с помощью таких знаний о движении луны и узлов, которыми обладал Гиппарх. Более того, после того, как была установлена продолжительность синодического и драконьего месяцев (§ 40), вычисление одного или нескольких периодов, после которых затмения будут повторяться почти таким же образом, стало просто вопросом арифметики. Ибо если какой-либо период времени содержит точное число каждого вида месяца, и если в какой-либо момент происходит затмение, то по истечении этого периода снова происходит соединение (или противостояние), и луна находится на том же расстоянии, что и раньше, от узла, и затмение повторяется почти так же, как и раньше. Например, сарос (глава I.,§ 17) содержал почти 223 синодических или 242

драконидских месяца, отличающихся друг от друга менее чем на час. Гиппарх видел, что этот период не был полностью надежным средством предсказания затмений, и показал, как учитывать неравномерности в движении Луны и солнца (§ § 39, 40), которые были проигнорированы исследователем, но не смог в полной мере справиться с трудностями, возникающими из-за изменений видимых диаметров солнца или Луны.

Однако в случае солнечных затмений возникает важное осложнение, на которое обращали внимание более ранние авторы, но с которым Гиппарх был первым, кто имел дело. Поскольку лунное затмение - это фактическое затемнение Луны, оно видно любому, где бы он ни находился, кто вообще может видеть Луну; например, возможным обитателям других планет, точно так же, как мы на земле можем видеть точно такие же затмения спутников Юпитера. Солнечное затмение - это, однако, просто экранирование солнечного света от конкретного наблюдателя, и поэтому солнце может быть затменным для одного наблюдателя, в то время как для другого в другом месте оно видно как обычно. Следовательно, при расчете солнечного затмения необходимо учитывать положение наблюдателя на земле. Самый простой способ сделать это - учесть разницу в направлении Луны, видимой наблюдателем в рассматриваемом месте, и наблюдателем, находящимся в каком-либо стандартном положении на земле, предпочтительно идеальным наблюдателем в центре земли. Если на рис. 31 M обозначает Луну, C - центр земли, A - точку на земле между C и M (в которой, следовательно, Луна находится над головой) и B - любую другую точку на земле, то наблюдатели в точках C (или A) и B видят Луну в несколько разных направлениях, Cm, Bm, разница между которыми составляет угол, известный как **параллакс**, который равен углу Bm C и зависит от расстояния до Луны, размера Земли и положения наблюдателя в точке B. В случае солнца из-за его большого расстояния, даже по оценкам греков, параллакс во всех случаях был слишком мал, чтобы его можно было принимать во внимание, но в случае Луны параллакс мог достигать 1 °, и им нельзя было пренебрегать.

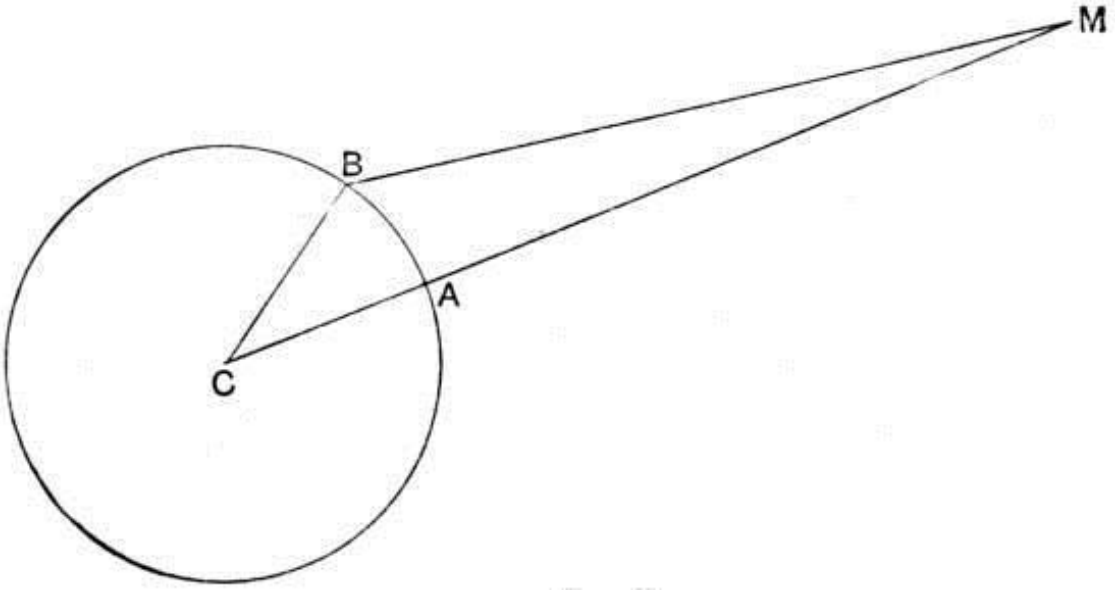


Рис. 31.Параллакс.

Если бы тогда траектория Луны, видимая из центра земли, была известна, то траекторию луны, видимую с любой конкретной станции на земле, можно было бы определить с учетом

параллакса, и соответственно можно было бы вычислить условия видимого там солнечного затмения.

Со времен Гиппарха и далее лунные затмения могли быть легко предсказаны с точностью до часа или двух любым обычным астрономом; солнечные затмения, вероятно, с меньшей точностью; и в обоих случаях предсказание степени затмения,*т.е.* Того, какая часть солнца или луны будет закрыта, вероятно, оставляло желать лучшего.

44. Великие услуги, оказанные Гиппархом астрономии, едва ли можно выразить лучше, чем словами великого французского историка астрономии Деламбра, который в целом не является снисходительным критиком работ своих предшественников:

“Когда мы рассматриваем все, что изобрел или усовершенствовал Гиппарх, и размышляем о количестве его работ и массе вычислений, которые они подразумевают, мы должны рассматривать его как одного из самых удивительных людей древности и как величайшего из всех в науках, которые не являются чисто умозрительными и которые требуют сочетания геометрических знаний со знанием явлений, которые можно наблюдать только при усердном внимании и усовершенствованных инструментах”.26

45. В течение почти трех столетий после смерти Гиппарха в истории астрономии практически не было информации. Сохранилось несколько учебников, написанных в этот период, свидетельствующих о постепенной популяризации его великих открытий. Среди немногих интересных моментов в этих книгах можно отметить утверждение о том, что звезды не обязательно находятся на поверхности сферы, но могут находиться на разных расстояниях от нас, которые, однако, нет средств оценить; гипотезу о том, что солнце и звезды находятся так далеко, что земля была бы просто точкой, видимой с солнца и невидимой со звезд; и повторное утверждение старого мнения, традиционно приписываемого египтянам (неизвестно, александрийского периода или более раннего), что Венера и Меркурий вращаются вокруг солнца. Похоже также, что в этот период были предприняты некоторые попытки объяснить движение планет с помощью эпициклов, но были ли эти попытки каким-либо прогрессом в том, что было сделано Аполлонием и Гиппархом, неясно.

Интересно также найти у *Плиния* (23-79 гг. н.э.) хорошо известный современный аргумент в пользу сферической формы земли, согласно которому, когда корабль отчаливает, мачты и т.д. Остаются видимыми после того, как корпус исчезает из виду.

Также можно отметить новое измерение окружности земли*Посидонием* (родившимся примерно в конце жизни Гиппарха); он применил метод, аналогичный методу Эратосфена (§ 36), и пришел к двум разным результатам. Более поздняя оценка, которой он, по-видимому, придавал наибольшее значение, составляла 180 000 стадиев, результат, который был примерно настолько же ниже истины, насколько результат Эратосфена был выше ее.

46. Последнее великое имя в греческой астрономии - Клавдий Птолемей, широко известный как *Птолемей*, о жизни которого ничего не известно, кроме того, что он жил в Александрии примерно в середине 2 века н.э. Его репутация основана главным образом на его великом астрономическом трактате, известном как *Альмагест*,27, который является источником, из которого почерпнута большая часть наших знаний о греческой астрономии, и который можно справедливо рассматривать как астрономическую Библию средневековья. Ему приписывается несколько других второстепенных астрономических и астрологических трактатов, некоторые из

которых, вероятно, не являются подлинными, и он также был автором важной работы по географии и, возможно, трактата по *оптике*, который, однако, не совсем аутентичен и, возможно, арабского происхождения. В *оптике* обсуждается, среди прочих тем, **преломление** или искривление света атмосферой на Земле: указывается, что свет звезды или другого небесного тела**, входя в нашу атмосферу (в точке A) и проникая в нижние и более плотные ее участки, должен постепенно искривляться**, в результате чего звезда кажется наблюдателю в точке B ближе к зениту Z, чем она есть на самом деле, *т.е.* Кажется, что свет исходит от S', а не от S; это означает, что в точке B звезда кажется ближе к зениту Z, чем она есть на самом деле. далее показано, что этот эффект должен быть сильнее для тел, расположенных вблизи горизонта, чем для тел, расположенных вблизи зенита, поскольку свет от первых проходит через большую толщу атмосферы; и показано, что эти результаты объясняют определенные наблюдаемые отклонения в суточных траекториях звезд, из-за которых они кажутся чрезмерно приподнятыми, когда находятся вблизи горизонта. Рефракция также объясняет хорошо известный уплощенный вид солнца или луны при восходе или заходе, когда нижний край поднимается из-за рефракции больше, чем верхний, так что в результате вертикальный диаметр уменьшается, а горизонтальный - намного меньше.28

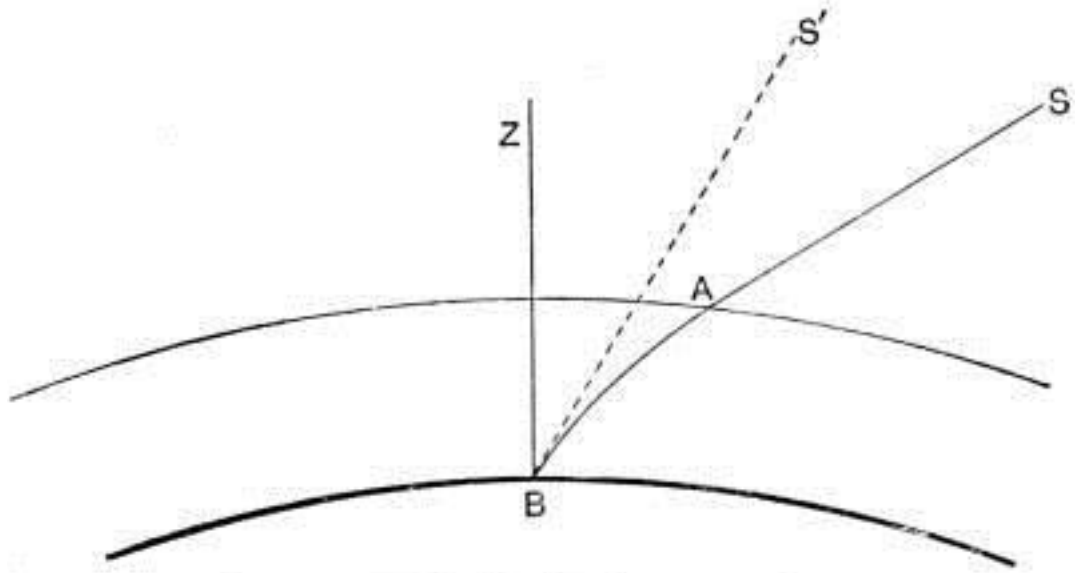


Рис. 32.Преломление в атмосфере.

47. *Альмагест*, по общему признанию, основан в значительной степени на работах более ранних астрономов, и в частности на работах Гиппарха, которому Птолемей постоянно выражает величайшее восхищение и уважение. Таким образом, многое из его содержания уже было рассмотрено заранее и не нуждается в повторном подробном обсуждении. Однако эта книга играет такую важную роль в истории астрономии, что, возможно, стоит вкратце изложить ее содержание, в дополнение к более полному рассмотрению тех частей, в которых Птолемей добился важных успехов.

The *Альмагест* состоит всего из 13 книг. Первые два посвящены более простым наблюдаемым фактам, таким как суточное движение небесной сферы и общие движения солнца, луны и планет, а также ряду тем, связанных с небесной сферой и ее движением, таким как продолжительность дня и времена восхода и захода звезд в различных зонах земли; также даны

решения некоторых важных математических задач, 29 и математическая таблица30 значительной точности и объема. Но наиболее интересные части этих вводных книг касаются того, что можно назвать постулатами астрономии Птолемея (книга I., глава ii.). Первый из них заключается в том, что земля сферическая; Птолемей обсуждает и отвергает различные альтернативные точки зрения и приводит несколько обычных положительных аргументов в пользу сферической формы, опуская, однако, один из самых сильных аргументов, аргумент о затмении, найденный у Аристотеля (§ 29), возможно, как слишком непонятный и сложный, и добавляя аргумент, основанный на увеличении площади земли, видимой наблюдателю. поднимается на высоту. В своей географии он принимает оценку, данную Посидонием, согласно которой окружность земли составляет 180 000 стадиев. Другие постулаты, которые он излагает и в пользу которых он аргументирует, заключаются в том, что небеса сферические и вращаются подобно сфере; что земля находится в центре небес и является всего лишь точкой по сравнению с расстоянием до неподвижных звезд, и что она не имеет движения. Положение этих постулатов в трактате и общий метод процедуры Птолемея предполагают, что он рассматривал их не столько как важные результаты, которые должны быть подтверждены наилучшими возможными доказательствами, сколько скорее как предположения, более вероятные, чем любые другие, с которыми был знаком автор, на которых можно основывать математические вычисления, которые должны объяснять наблюдаемые явления.31 Таким образом, его позиция существенно отличается от позиции ранних греков, таких как Пифагор, или спорщиков 16-го и начала 17-го веков, таких как Галилей (глава VI.), для которых истина или ложность постулатов, аналогичных постулатам Птолемея, составляла саму суть астрономии и была одним из конечных объектов исследования. Аргументы, которые Птолемей приводит в поддержку своих постулатов, аргументы, которые, вероятно, были общими местами в астрономических трудах его времени, кажутся нам, за исключением случая с формой земли, неубедительными и не имеющими большой ценности. Другие постулаты, на самом деле, едва ли могли быть подтверждены или опровергнуты теми доказательствами, которыми располагал Птолемей. Его аргумент в пользу неподвижности земли интересен, поскольку он демонстрирует его ясное понимание того, что более очевидные явления могут быть одинаково хорошо объяснены движением звезд или земли; однако он приходит к выводу, что легче приписать движение телам, подобным звездам, которые, по-видимому, имеют природу огня, чем твердой земле, и указывает также на трудность представления земли о быстром движении, о котором мы совершенно не подозреваем. Однако он не обсуждает всерьез возможность того, что земля или даже Венера и Меркурий могут вращаться вокруг Солнца.

Третья книга *Альмагеста* посвящена продолжительности года и теории солнца, но ничего важного не добавляет к работе Гиппарха.

48. Четвертая книга *Альмагеста*, в которой говорится о продолжительности месяца и теории Луны, содержит одно из самых важных открытий Птолемея. Мы видели, что, помимо движения лунной орбиты в целом и поворота линии апсид, главной неправильностью или неравенством было так называемое уравнение центра (§§ 39, 40), довольно точно представленное посредством эксцентриситета и зависящее только от положения Луны относительно ее апогея. Птолемей, однако, обнаружил то, о чем Гиппарх только подозревал, что в движении Луны существовало еще одно неравенство, которому впоследствии было дано название **уклонение**, и что это частично зависело от ее положения относительно солнца. Птолемей сравнил наблюдаемые положения Луны с рассчитанными Гиппархом в различных положениях относительно солнца и апогея и обнаружил, что, хотя в новолуние и полнолуние наблюдалось

удовлетворительное совпадение, была значительная ошибка, когда луна была наполовину полной, при условии, что она также находилась не очень близко к перигею или апогею. Гиппарх основывал свою теорию Луны главным образом на наблюдениях затмений, *т.е.* На наблюдениях, сделанных обязательно в полнолуние или новолуние (§ 43), а открытие Птолемея связано с тем фактом, что он проверил теорию Гиппарха наблюдениями, сделанными в другое время. Чтобы представить это новое неравенство, было сочтено необходимым использовать эпицикл и деферент, последний сам по себе является движущейся эксцентрической окружностью, центр которой вращается вокруг земли. Чтобы объяснить, в некоторой степени, некоторые оставшиеся расхождения между теорией и наблюдениями, которые не возникали ни в новолуние и полнолуние, ни в**квадратурах** (полумесяце), Птолемей ввел далее определенное небольшое колебание эпицикла взад-вперед, колебание, которому он дал название **проснезиса**.32 Таким образом, Птолемею удалось так хорошо согласовать свою теорию со своими наблюдениями, что ошибка редко превышала 10', небольшую величину в астрономии того времени, и на основе этой конструкции он вычислил таблицы, из которых можно было легко вывести положение Луны в любое требуемое время.

Одна из неотъемлемых слабостей системы эпициклов проявилась в этой теории в обостренной форме. В связи с теорией солнца уже было замечено (§ 39), что эксцентриситет, или эпицикл, приводил к ошибочному изменению расстояния до солнца, которое, однако, было незаметно во времена Греции. Система Птолемея, однако, представляла Луну находящейся иногда почти в два раза дальше, чем в других местах, и, следовательно, видимый диаметр в некоторые моменты должен был быть не намного больше половины того, что в других местах — вывод, явно противоречащий наблюдениям. Представляется вероятным, что Птолемей заметил эту трудность, но не смог с ней справиться; во всяком случае, важным фактом является то, что когда он имеет дело с затмениями, для которых важны видимые диаметры солнца и Луны, он полностью отвергает оценки, которые могли быть получены из его лунной теории, и обращается к непосредственному наблюдению (ср. Также § 51, примечание).

49. Пятая книга *Альмагеста* содержит отчет о конструкции и использовании главного астрономического инструмента Птолемея - комбинации градуированных кругов, известной как **астролябия**.33

Затем следует подробное обсуждение параллакса Луны (§ 43) и расстояний до солнца и Луны. Птолемей определяет расстояние до Луны с помощью метода параллакса, который по существу идентичен используемому до сих пор. Если мы знаем направление линии Cm (рис. 33), соединяющей центры земли и Луны, или направление Луны, видимой наблюдателем в точке A; а также направление линии Bm, то есть направление Луны, видимой наблюдателем в точке B, тогда известны углы треугольника Cb M и соотношение сторон Cb, Cm. Птолемей получил два требуемых направления с помощью наблюдений за Луной и, следовательно, обнаружил, что Cm в 59 раз больше Cb, или что расстояние до Луны в 59 раз больше радиуса Земли. Затем он использует метод затмения Гиппарха, чтобы вычислить расстояние от солнца до Луны, установленное таким образом, и обнаруживает, что расстояние от солнца в 1210 раз больше радиуса Земли. Это число, которое по существу совпадает с полученным Гиппархом (§ 41), составляет, однако, лишь примерно 1/20 от истинного числа, как указано в современной работе (глава XIII,§ 284).

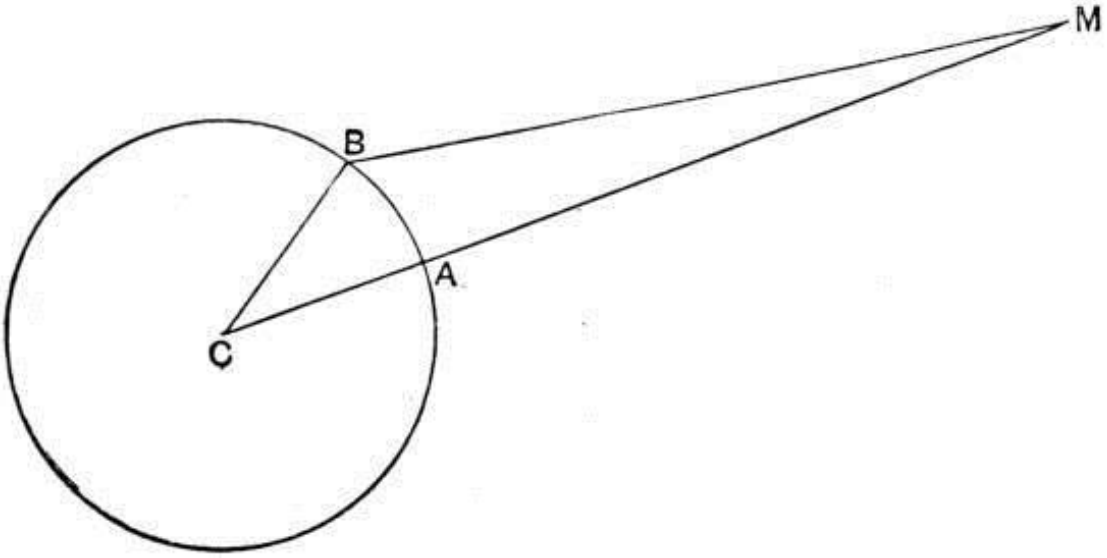


Рис. 33.—Параллакс.

Шестая книга посвящена затмениям и не содержит существенных дополнений к труду Гиппарха.

50. Седьмая и восьмая книги содержат каталог звезд и обсуждение прецессии (§ 42). Каталог, содержащий 1028 звезд (три из которых являются дубликатами), по-видимому, почти идентичен каталогу Гиппарха, в нем нет ни одной звезды, которая была видна Птолемею в Александрии, но не Гиппарху на Родосе. Более того, Птолемей утверждает, что вывел из сравнения своих наблюдений с наблюдениями Гиппарха и других (ошибочное) значение 36" для прецессии, которое Гиппарх дал как наименьшее возможное значение и которое Птолемей рассматривает как свою окончательную оценку. Но изучение положений, присвоенных звездам в каталоге Птолемея, лучше согласуется с их фактическим положением во времена Гиппарха, *с поправкой на прецессию с предполагаемой скоростью 36" в год*, чем с их фактическим положением во времена Птолемея. Следовательно, вероятно, что каталог в целом не отражает подлинных наблюдений, сделанных Птолемеем, а по существу является каталогом Гиппарха с поправкой на прецессию и лишь изредка модифицируется новыми наблюдениями Птолемея или других авторов.

51. Последние пять книг посвящены теории планет, наиболее важному из первоначальных вкладов Птолемея в астрономию. Проблема удовлетворительного объяснения движений планет была, из-за их гораздо большей неравномерности, гораздо более сложной, чем соответствующая проблема для солнца или Луны. Движения последних настолько близки к равномерным, что их неравномерности обычно можно рассматривать как небольшие поправки, и для многих целей ими можно пренебречь. Планеты, однако, как мы видели (глава I.,§ 14), даже не всегда движутся с запада на восток, а через определенные промежутки времени останавливаются, некоторое время движутся в обратном направлении, снова останавливаются и затем снова движутся в первоначальном направлении. Вероятно, в древности было признано, самое позднее Евдоксом (§ 26), что в случае трех планет, Марса, Юпитера и Сатурна, эти движения можно было приблизительно представить, предположив, что каждая планета колеблется взад и вперед по обе стороны от вымышленной планеты, равномерно перемещаясь вокруг небесной сферы по эклиптике или вблизи нее, и что Венеру и Меркурий аналогичным

образом можно рассматривать как колеблющиеся взад и вперед по обе стороны от солнца. Эти грубые движения можно было легко интерпретировать с помощью вращающихся сфер или эпициклов, как это было сделано Евдоксом и, вероятно, снова с большей точностью Аполлонием. В случае Юпитера, например, мы можем рассматривать планету как движущуюся по эпициклу, центр которого,*j*, равномерно описывает траекторию, центром которой является земля. Тогда планета, если смотреть с земли, будет появляться попеременно к востоку (как в точке J_1) и к западу (как в точке J_2) от фиктивной планеты *j*; и степень колебаний с каждой стороны и интервал между последовательными появлениями в крайних положениях (J_1, J_2) с обеих сторон можно скорректировать, соответствующим образом выбрав размер и скорость движения эпицикла. Более того, очевидно, что при таком расположении видимое движение Юпитера будет значительно различаться, поскольку два движения — движение на эпицикле и движение центра эпицикла на противоположной стороне — иногда происходят в одном направлении, чтобы усилить эффект друг друга, а иногда в противоположных направлениях. Таким образом, когда Юпитер наиболее удален от Земли, то есть на J_3, движение наиболее быстрое, на J_1 и J_2 движение, наблюдаемое с земли, почти такое же, как у *j*; в то время как на J_4 два движения совершаются в противоположных направлениях, а размер и движение эпицикла были выбраны указанным выше способом, фактически обнаруживается, что движение планеты в эпицикле больше из двух движений, и поэтому планета, находясь в эпицикле, кажется, что это положение перемещается с востока на запад (слева направо на рисунке), как и есть на самом деле. Поскольку тогда при J_1 и J_2 кажется, что планета движется с запада на восток, а при J_4 в противоположном направлении, а внезапные изменения движения в астрономии не происходят, должно быть положение между J_1 и J_4, а другое между J_4 и J_2, при котором планета просто меняет направление своего движения и, следовательно, на мгновение оказывается в состоянии покоя. Таким образом, мы приходим к объяснению неподвижных точек (глава I., § 14). Точно такая же схема примерно объясняет движение Меркурия и Венеры, за исключением того, что центр эпицикла всегда должен находиться в направлении солнца.

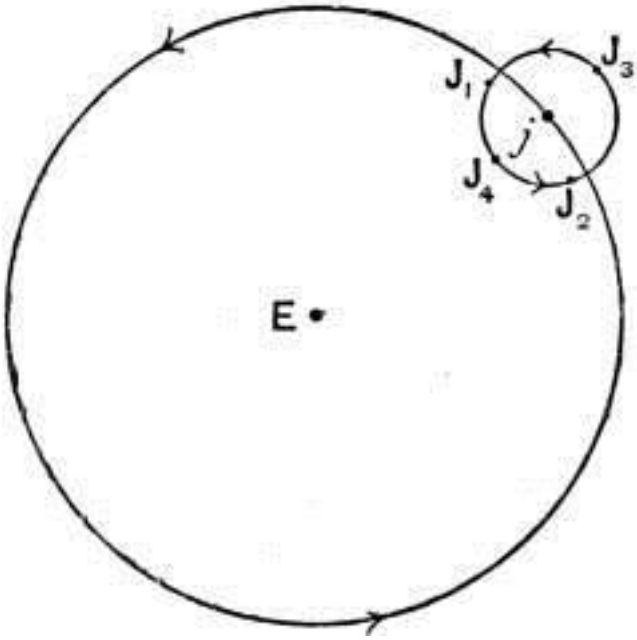


Рис. 34. Эпицикл Юпитера и деферент.

Гиппарх, как мы видели (§ 41), счел текущие представления о движении планет неточными и собрал ряд свежих наблюдений. Их, а также свои собственные свежие наблюдения, Птолемей теперь использовал для построения улучшенной планетной системы.

Как и в случае с луной, он использовал в качестве деферента эксцентричный круг (центр C), но вместо того, чтобы заставить центр *j* эпицикла равномерно перемещаться в деференте, он ввел новую точку, называемую **эквантом** (E'), расположенную на том же расстоянии от центра деферента, что и земля, но на противоположной стороне, и регулировал движение *j* при условии, что видимое движение*, наблюдаемое с экванта,* должно быть равномерным; другими словами, угол A E' *было сделано так, чтобы j* увеличивался равномерно. В случае Меркурия (движение которого вызывало беспокойство у астрономов всех периодов) отношение экванта к центру эпицикла было иным, и последний был перемещен по небольшому кругу. Отклонения планет от эклиптики (глава I., §§ 13, 14) объяснялись наклоном плоскостей нескольких деферентов и эпициклов так, что они были наклонены к эклиптике под различными малыми углами.

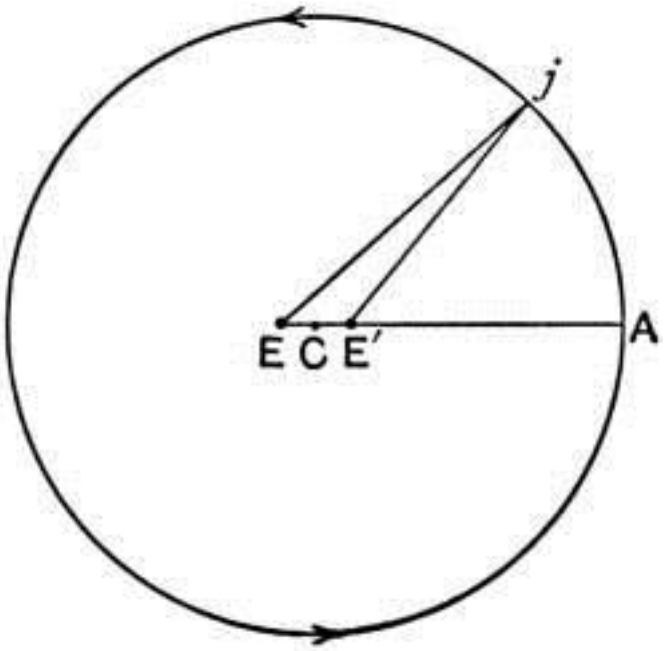


Рис. 35.—Уравнение.

С помощью системы такого рода, разработанной с большой тщательностью и, очевидно, ценой огромного труда, Птолемей смог с очень высокой точностью воспроизвести движения планет, данные имеющихся в его распоряжении наблюдений.

Современными критиками, а также некоторыми средневековыми авторами было указано, что использование экванта (который также сыграл небольшую роль в лунной теории Птолемея) было нарушением принципа использования только равномерных круговых движений, на котором, как предполагалось, основывались системы Гиппарха и Птолемея, и что сам Птолемей, по-видимому, не осознавал своей непоследовательности. Можно, однако, справедливо усомниться в том, имели ли Гиппарх или Птолемей когда-либо абстрактную веру в

исключительную ценность таких движений, кроме как в удобный и легко понятный способ представления некоторых более сложных движений, и труднопредставить, что Гиппарх колебался бы больше, чем его великий последователь, при использовании экванта для представления нерегулярного движения, если бы он обнаружил, что движение таким образом представлено с точностью. На самом деле эта критика кажется мне анахронизмом. Древние греки, чья астрономия была скорее спекулятивной, чем научной, и, опять же, многие астрономы средневековья, считали, что на *априорных* основаниях необходимо представлять “совершенство” небесных движений с помощью наиболее ”совершенных" или правильных геометрических схем; так что весьма вероятно, что Пифагор или Платон, или даже Аристотель, возразили бы, и несомненно, что астрономы 14-го и 15-го веков должны были возразить (что некоторые из них действительно и сделали) против этого нововведения Птолемея. Но, похоже, нет веских оснований приписывать это *априорное* отношение более поздним научным греческим астрономам (ср. Также §§ 38, 47).34

Следует заметить, что ничего не было сказано относительно действительных расстояний планет, и фактически на видимые движения не влияют никакие изменения в масштабе, на котором построены деферент и эпицикл, при условии, что оба изменяются пропорционально. Птолемей прямо заявляет, что у него не было средств для численной оценки расстояний до планет или даже для того, чтобы знать порядок расстояний между несколькими планетами. Он следовал традиции, принимая предположительную скорость движения в качестве критерия близости, и поместил Марс, Юпитер, Сатурн (которые совершают оборот вокруг небесной сферы примерно за 2, 12 и 29 лет соответственно) за солнцем в таком порядке. Поскольку Венера и Меркурий сопровождают солнце и, следовательно, могут рассматриваться как совершающие в среднем свой оборот за год, тест в некоторой степени провалился в их случае, но Птолемей снова согласился с мнением “древних математиков” (*т.е.*, вероятно, халдеев), что Меркурий и Венера находятся между солнцем и Луной, причем Меркурий ближе к нам. (Ср. главу I., § 15.)

52. Среди астрономов были большие расхождения во мнениях относительно достоинств Птолемея. На протяжении всего средневековья его авторитет считался почти окончательным в астрономических вопросах, за исключением тех случаев, когда он перевешивался еще большим авторитетом, присвоенным Аристотелю. Современная критика ясно дала понять, факт, который он на самом деле никогда не скрывает, что его работа в значительной степени основана на работе Гиппарха; и что его наблюдения, если и не были на самом деле вымышленными, то, во всяком случае, в большинстве случаев были скудными. С другой стороны, его работа ясно показывает, что он был опытным и оригинальным математиком.35 Наиболее важными из его положительных вкладов в астрономию были открытие эвекции и его планетная теория, но, вероятно, нам следует поставить выше этих, какими бы важными они ни были, услуг, которые он оказал, сохранив и развив великие идеи Гиппарха — идеи, которые другие астрономы того времени, вероятно, были неспособны оценить, и которые могли быть легко потеряны для нас, если бы они не были воплощены в *Альмагесте*.

53. История греческой астрономии практически заканчивается на Птолемее. Практика наблюдения вымерла настолько полностью, что известно, что за восемь с половиной столетий, отделяющих его от Альбатегния, было сделано только восемь наблюдений (глава III,§ 59). Единственными греческими писателями после Птолемея были компиляторы и комментаторы, такие как*Теон* (*фл.* 365 г. н.э.), ни одному из которых нельзя приписать оригинальных идей,

имеющих какое-либо значение. Убийство его дочери Гипатии (415 г. н.э.), которая сама также занималась астрономией, знаменует эпоху в упадке александрийской школы; конец наступил в 640 г. н.э., когда Александрия была захвачена арабами.36

54. Остается попытаться вкратце оценить значение вклада греков в астрономию и их метода исследований. Очевидно, неразумно ожидать найти краткую формулу, которая охарактеризует научную позицию ряда астрономов, чья жизнь насчитывает восемь столетий; и бесполезно объяснять неполноценность греческой астрономии по сравнению с нашей на каком-то таком основании, как то, что они не открыли метод индукции, что они были недостаточно осторожны в получении фактов или даже то, что их идеи не были ясными. В образе мышления и научных целях контраст между Пифагором и Гиппархом, вероятно, больше, чем между Гиппархом, с одной стороны, и Коперником или даже Ньютоном, с другой, хотя не будет несправедливым сказать, что причудливые идеи, которыми пронизаны работы даже такого великого первооткрывателя, как Кеплер (глава VII,§ § 144, 151), ставят его научный метод в некоторых отношениях позади метода его великого греческого предшественника.

Греки унаследовали от своих предшественников ряд наблюдений, многие из которых были выполнены со значительной точностью, почти достаточной для требований практической жизни, но в вопросах астрономической теории и спекуляций, которыми их лучшие мыслители интересовались гораздо больше, чем подробными фактами, они получили фактически чистый лист, на котором им пришлось записывать (поначалу без особого успеха) свои умозрительные идеи. Очевидно, что потребовался значительный промежуток времени, чтобы перебросить мост через пропасть, отделяющую такие данные, как наблюдения халдейских затмений, от таких идей, как гармонические сферы Пифагора; и необходимая теоретическая структура не могла быть построена без использования математических методов, которые предстояло постепенно изобрести. То, что греки, особенно в ранние времена, уделяли мало внимания проведению наблюдений, достаточно верно, но можно справедливо усомниться в том, что сбор свежего материала для наблюдений действительно продвинул бы астрономию намного дальше того уровня, которого достигли халдейские наблюдатели. Когда некогда умозрительные идеи, определенные с помощью геометрии, были достаточно развиты, чтобы их можно было сравнить с наблюдениями, был достигнут быстрый прогресс. Более того, греческие астрономы научного периода, такие как Аристарх, Эратосфен и, прежде всего, Гиппарх, по-видимому, следовали в своих исследованиях методу, который всегда был плодотворным в физической науке, а именно, формулировали предварительные гипотезы, выводили из них математические следствия и сравнивали их с результатами наблюдений. Есть несколько лучших примеров подлинной научной осторожности, чем то, как Гиппарх, проверив переданные ему планетные теории и обнаружив их недостаточность, сознательно воздержался от построения новой теории на данных, которые, как он знал, были недостаточными, и терпеливо собирал свежий материал, который никогда не использовался им самим, чтобы какой-нибудь будущий астроном смог таким образом прийти к улучшенной теории.

Из положительных дополнений к нашим астрономическим знаниям, сделанных греками, наиболее поразительным в некотором смысле является открытие приблизительно сферической формы земли, результат, который более поздние работы лишь слегка изменили. Но их объяснение основных движений солнечной системы и сведение их к сравнительно небольшому

числу более простых движений было, в действительности, гораздо более важным вкладом, хотя греческая эпициклическая схема была настолько переработана, что на первый взгляд трудно распознать связь между ней и нашими современными взглядами. Последующая история, однако, покажет, насколько полно каждая стадия прогресса астрономической науки зависела от предшествующих.

Когда мы изучаем великий конфликт во времена Копперника между древними и современными идеями, наши симпатии, естественно, переходят к тем, кто поддерживал последние, которые, как теперь известно, были более точными, и мы склонны забывать, что те, кто тогда говорил от имени древней астрономии и цитировал Птолемея, действительно верили в доктрины, которые они заимствовали у греков, но что их методы мышления, их частый отказ смотреть фактам в лицо и их апелляции к авторитетам - все это было совершенно чуждо духу великих людей, учениками которых они себя считали.

ГЛАВА III.
СРЕДНИЕ ВЕКА.

-Лампа горит слабо, и сквозь прутья створки

Слабо мерцает серое утро".

Парацельс*Браунинга*.

55. Между публикацией *"Альмагеста"* и смертью Копперника (1543) прошло около четырнадцати столетий - дата, которая в астрономии является удобным ориентиром на границе между средневековьем и современным миром. За этот период, почти вдвое более продолжительный, чем тот, который отделял Фалеса от Птолемея, и почти вчетверо более продолжительный, чем тот, который сейчас прошел после смерти Копперника, не было сделано ни одного астрономического открытия первостепенной важности. В математике были достигнуты некоторые важные успехи, и искусство наблюдения было усовершенствовано; но теоретическая астрономия почти не продвинулась вперед, а в некоторых отношениях даже откатилась назад, так как современные доктрины, хотя и были в некоторых моментах несколько более правильными, чем доктрины Птолемея, были менее разумными.

Мы уже видели, что в Западном мире почти пять столетий после Птолемея почти не было записей. После этого времени наступила почти полная пустота, и прошло еще несколько столетий, прежде чем произошло сколько-нибудь заметное возрождение интереса, который когда-то ощущался к астрономии.

56. Тем временем в VII веке на Востоке произошло замечательное развитие науки. Потомки диких арабов, которые пронесли знамя Магомета над столь значительной частью Римской империи, а также над землями, лежащими дальше на восток, вскоре начали ощущать влияние цивилизации покоренных ими народов, и Багдад, который в VIII веке стал столицей халифов,

быстро превратился в центр литературной и научной деятельности. Аль-Мансур, правивший с 754 по 775 год нашей эры, был известен как покровитель науки и собирал вокруг себя ученых людей как из Индии, так и с Запада. В частности, нам рассказывают о прибытии к его двору в 772 году ученого из Индии, привезшего с собой индийский трактат по астрономии,37 который был переведен на арабский язык по приказу халифа и оставался стандартным трактатом почти полвека. Со времен Аль-Мансура группа ученых, в первую очередь сирийских христиан, работала при дворе халифов, переводя греческие труды, часто с помощью сирийского языка, на арабский. Первыми сделанными переводами были медицинские трактаты Гиппократа и Галена; аристотелевские идеи, содержащиеся в последних, по-видимому, пробудили интерес к трудам самого Аристотеля и, таким образом, расширили круг предметов, которые считались достойными изучения. Астрономия вскоре последовала за медициной и стала любимой наукой арабов, отчасти, без сомнения, из-за подлинного научного интереса, но, вероятно, еще больше ради ее практического применения. Некоторые магометанские церемониальные обряды требовали знания направления на Мекку, и хотя многие верующие, живущие где-либо между Индом и Гибралтарским проливом, должны были довольствоваться грубыми решениями этой проблемы, помощь, которую астрономия могла оказать в определении истинного направления, приветствовалась в более крупных населенных пунктах. Магометанский календарь, лунный календарь, также требовал определенного внимания для того, чтобы посты и пиршества соблюдались в надлежащее время. Более того, вера в возможность предсказания будущего по звездам, которая процветала среди халдеев (глава I.,§ 18), но которая в значительной степени оставалась в тени у греков, теперь быстро возродилась на благоприятной восточной почве, и халифы, вероятно, были не менее заинтересованы в том, чтобы ученые мужи при их дворах были сведущи в астрологии, чем в собственно астрономии.

Первый перевод *Альмагеста* был сделан по заказу преемника Аль-Мансура Харуна аль-Рашида (765 или 766- 809 гг. н.э.), героя *"Тысячи и одной ночи"*. Однако, похоже, его оказалось трудно перевести; новые попытки были предприняты*Хонейном бен Исхаком* (?-873) и его сыном *Исхаком бен Хонейном* (?-910 или 911), а окончательная версия *Табита бен Корры* (836-901) появилась ближе к концу IX века. Исхак бен Хонейн перевел также ряд других астрономических и математических книг, так что к концу IX века, после которого переводы почти прекратились, были переведены большинство наиболее важных греческих книг по этим предметам, а также множество второстепенных трактатов. Этой деятельности мы обязаны нашим знанием нескольких книг, греческие оригиналы которых исчезли.

57. В период, когда халифы жили в Дамаске, там была возведена обсерватория, а другая, более величественная, была построена в Багдаде в 829 году халифом Аль-Мамуном. Использованные инструменты превосходили греческие как по размеру, так и по мастерству изготовления, хотя по существу были того же типа. Кроме того, арабские астрономы ввели превосходную практику проведения регулярных и, насколько это возможно, почти непрерывных наблюдений за главными небесными телами, а также обычай отмечать положения известных звезд в начале и конце затмения, чтобы впоследствии иметь точную запись времени их появления. Корректным наблюдениям придавалось такое большое значение, что, как нам говорят, те из них, которые представляли особый интерес, были зафиксированы в официальных документах, подписанных под присягой смешанной группой астрономов и юристов.

Аль-Мамун приказал своим астрономам проверить оценку Птолемеем размеров земли. Были сделаны два отдельных измерения части меридиана, которые, однако, настолько хорошо

согласуются друг с другом и с ошибочной оценкой Птолемея, что вряд ли они могли быть независимыми и тщательными измерениями, а скорее грубой проверкой цифр Птолемея.

58. Тщательные наблюдения арабов вскоре показали недостатки греческих астрономических таблиц, и время от времени выпускались новые таблицы, основанные во многом на тех же принципах, что и в *Альмагесте*, но с изменениями в таких числовых данных, как относительные размеры различных окружностей, положения апогеев, наклоны плоскостей и т.д.

Табиту бен Корре, упомянутому выше как переводчик *"Альмагеста"*, принадлежит сомнительная честь открытия предполагаемого изменения величины прецессии (глава II,§§ 42, 50). Чтобы объяснить это, он разработал сложный механизм, который вызывал определенное изменение положения эклиптики, внося, таким образом, чисто воображаемое усложнение, известное как**трепет**, который запутал и затемнил большинство астрономических таблиц, выпущенных в течение следующих пяти или шести столетий.

59. Гораздо более великим астрономом, чем любой из упомянутых в предыдущих статьях, был арабский принц, названный по месту своего рождения Аль Баттани и более известный под латинизированным именем*Альбатегний*, который вел наблюдения с 878 по 918 год и умер в 929 году. Он проверил многие результаты Птолемея свежими наблюдениями и получил более точные значения наклона эклиптики (глава I.,§ 11) и прецессии. Он также написал трактат по астрономии, который содержал улучшенные таблицы солнца и Луны и включал его самое примечательное открытие, а именно, что направление точки на солнечной орбите, в которой она находится дальше всего от земли (апогей), или, другими словами, направление центра эксцентриситета, представляющего движение солнца (глава II.,§ 39), не совпадало с тем, которое дано в *"Альмагесте"*; из этого изменения, слишком большого, чтобы быть объясненным простыми ошибками наблюдения или расчета, можно было бы справедливо заключить, что сделал вывод, что апогей медленно приближается, результат, который, однако, он прямо не озвучил. Альбатегниус был также хорошим математиком и автором некоторых заметных усовершенствований в методах вычислений.38

60. Последним из багдадских астрономов был*Абул Вафа* (939 или 940-998), автор объемистого трактата по астрономии, также известного как *Альмагест*, который содержал некоторые новые идеи и был написан по плану, отличающемуся от книги Птолемея, переводом которой он иногда считался. Обсуждая теорию Луны, Абул Вафа обнаружил, что после учета уравнения центра и отклонения в движении Луны осталась еще одна неравномерность, которая была незаметна при соединении, противостоянии и квадратуре, но заметна в промежуточных точках. Возможно, что Абул Вафа здесь обнаружил неравенство, заново открытое Тихо Браге (глава *V.*, § 111) и известное как **вариация**, но столь же вероятно, что он просто пересказывал прозрение Птолемея (глава II.,§ 48).39 В любом случае открытие Абул Вафы, по-видимому, было полностью проигнорировано его преемниками и не принесло никаких плодов. Он также продолжил некоторые математические усовершенствования своих предшественников.

Другой почти современный астроном, широко известный как *Ибн Юнос* (?-1008), работал в Каире под покровительством магометанских правителей Египта. Он опубликовал набор астрономических и математических таблиц, *Таблицы Хакемита*, которые оставались стандартными в течение примерно двух столетий, и он включил в ту же книгу ряд своих собственных наблюдений, а также обширную серию работ более ранних арабских астрономов.

61. Примерно в это время астрономия, как и другие отрасли знания, достигла некоторого прогресса в магометанских владениях в Испании и на противоположном побережье Африки. Около 970 года в Кордове были основаны большая библиотека и академия, а в Кордове, Толедо, Севилье и Марокко были быстро созданы центры образования.

Наиболее важной работой, созданной астрономами этих мест, был сборник астрономических таблиц, опубликованный под руководством*Арзакеля* в 1080 году и известный как *Толетанские таблицы*, поскольку рассчитан для наблюдателя из Толедо, где, вероятно, жил Арзакель.той же школе принадлежат некоторые усовершенствования инструментов и методов вычислений, и было опубликовано несколько работ с критикой Птолемея, однако без предложений о каких-либо улучшениях его идей.

Однако постепенно испанские христиане начали вытеснять своих соседей-магометан. Кордова и Севилья были захвачены в 1236 и 1248 годах соответственно, и с их падением арабская астрономия исчезла из истории.

62. Прежде чем мы перейдем к рассмотрению прогресса астрономии в Европе, заслуживают упоминания еще две астрономические школы Востока, обе из которых иллюстрируют необычайно быстрый рост научных интересов среди варварских народов. Хулагу-хан, внук монгольского завоевателя Чингисхана, захватил Багдад в 1258 году и положил конец правлению там халифов. За несколько лет до этого он пользовался благосклонностью, отчасти в качестве политического советника, астронома*Нассира Эддина* (родился в 1201 году в Тусе в Хорасане), и впоследствии выделил средства на создание великолепной обсерватории в Мераге, недалеко от северо-западной границы современной Персии. Здесь несколько астрономов работали под общим руководством Нассира Эддина. Инструменты, которыми они пользовались, отличались своими размерами и тщательной конструкцией и, вероятно, были лучше всех, которые использовались в Европе во времена Коперника, и первыми их превзошли инструменты Тихо Браге (глава V.).

Нассир Эддин и его помощники перевели или прокомментировали почти все наиболее важные доступные греческие труды по астрономии и смежным предметам, включая "*Элементы*" Евклида, несколько книг Архимеда и "*Альмагест"*. Нассир Эддин также написал реферат по астрономии, отличающийся некоторой оригинальностью, и трактат по геометрии. Он, по-видимому, не принял авторитет Птолемея безоговорочно и возражал, в частности, против использования экванта (глава II,§ 51), который он заменил новой комбинацией сфер. Многие из этих трактатов долгое время пользовались большой репутацией на Востоке и, в свою очередь, стали предметом комментариев.

Но величайшей работой астрономов Мераги, занявшей у них 12 лет, был выпуск пересмотренного набора астрономических таблиц, основанного на хакемитских таблицах Ибн Юноса (§ 60) и названного в честь их покровителя*Ильханическими таблицами*. Они содержали не только обычные таблицы для расчета движений планет и т.д., Но и звездный каталог, основанный в некоторой степени на новых наблюдениях.

Важным результатом наблюдений неподвижных звезд, сделанных в Мераге, было то, что прецессия (глава II,§ 42) была зафиксирована на уровне 51", или примерно в пределах 1" от ее истинного значения. Нассир Эддин также обсуждал предполагаемый трепет (§ 58), но, похоже, немного сомневался в его реальности. Он умер в 1273 году, вскоре после своего покровителя, и

вместе с ним школа Мерага прекратила свое существование так же быстро, как и была сформирована.

63. Почти два столетия спустя *Улугбек* (родился в 1394 году), внук дикого татарина Тамерлана, проявил большой личный интерес к астрономии и построил около 1420 года обсерваторию в Самарканде (в нынешнем российском Туркестане), где он работал с помощниками. Он опубликовал свежие таблицы планет и т.д., Но его самой важной работой был звездный каталог, включающий почти те же звезды, что и у Птолемея, но наблюдаемый заново. Вероятно, это был первый по существу независимый каталог, составленный со времен Гиппарха. Расположение звезд было указано с необычайной точностью, были записаны минуты, а также градусы небесной долготы и широты; и хотя сравнение с современными наблюдениями показывает, что обычно допускались ошибки в несколько минут, вполне вероятно, что используемые инструменты были чрезвычайно хорошими. Улугбек был убит своим сыном в 1449 году, и вместе с ним татарская астрономия прекратилась.

64. Ни одну великую оригинальную идею нельзя приписать кому-либо из арабских и других астрономов, чьи работы мы в общих чертах описали. Однако они обладали замечательной способностью впитывать чужие идеи и продвигать их немного дальше. Они были терпеливыми и точными наблюдателями и искусными вычислителями. Мы обязаны им длинным рядом наблюдений и изобретением или внедрением нескольких важных усовершенствований в математические методы.40 Среди наиболее важных их заслуг перед математикой, а следовательно, и перед астрономией, следует считать введение из Индии нашей нынешней системы записи чисел, при которой значение цифры изменяется в зависимости от ее положения, и не требуются новые символы, как в неуклюжей греческой и римской системах, для обозначения более высоких чисел. Таким образом, в арифметическую работу было внесено огромное упрощение.41 Более важным, чем фактический первоначальный вклад арабов в астрономию, была услуга, которую они оказали в поддержании живого интереса к науке и сохранении открытий своих греческих предшественников.

Некоторые любопытные реликвии того времени, когда арабы были великими мастерами астрономии, сохранились на астрономическом языке. Таким образом, мы заимствовали из них, обычно в очень искаженных формах, современные названия многих отдельных звезд,*например,* Альдебаран, Альтаир, Бетельгейз, Ригель, Вега (созвездия в основном известны по латинским переводам греческих названий), и некоторые распространенные астрономические термины, такие как зенит и **надир** (невидимая точка на небесной сфере напротив зенита); в то время как по крайней мере одно такое слово, альманах, вошло в общий язык.

65. В Европе в период смуты, последовавший за распадом Римской империи и предшествовавший определенному формированию феодальной Европы, почти ничего не известно об астрономии, как, впрочем, и о любой другой естественной науке. Лучшие умы, которые не были поглощены практической жизнью, были заняты теологией. Несколько человек, таких как достопочтенный Беда (672-735), жившие по большей части в уединенных монастырях, были известны своей ученостью, которая в целом включала некоторые разделы математики и астрономии; ни один из них не был известен своими дополнениями к научным знаниям. Некоторый прогресс был достигнут Карлом Великим (742-814), который, помимо наведения чего-то вроде порядка в своих обширных владениях, предпринимал энергичные попытки развивать образование. В 782 году он вызвал ко двору нашего ученого

соотечественника*Алкуина* (735-804), чтобы тот преподавал астрономию, арифметику и риторику, а также другие предметы, и пригласил других ученых присоединиться к нему, образовав таким образом своего рода Академию, главой которой был Алкуин.

Карл Великий не только основал высшую школу при своем собственном дворе, но и успешно убедил церковные власти во всех частях своих владений сделать то же самое. В этих школах преподавались семь свободных искусств, разделенных на так называемый тривиум (грамматика, риторика и диалектика) и квадривиум, который включал астрономию в дополнение к арифметике, геометрии и музыке.

66. В 10 веке слава об арабской учености начала медленно распространяться через Испанию в другие части Европы, и огромная ученость*Герберта*, самого известного ученого столетия, который занимал папскую кафедру как Сильвестр II. с 999 по 1003 год, была в значительной степени обусловлена временем, которое он провел в Испании, либо в мавританских владениях, либо поблизости от них. Он был прилежным учеником, неутомимо собирал и читал редкие книги и особенно интересовался математикой и астрономией. Его мастерство в изготовлении астролябий (глава II,§ 49) и других инструментов было таково, что в народе считалось, что он приобрел свои способности, продав свою душу Дьяволу. Другие ученые проявляли аналогичный интерес к изучению арабского языка, но только по прошествии следующего столетия магометанское влияние стало важным.

В начале 12 века началась серия переводов с арабского на латынь научных и философских трактатов, частично оригинальных произведений арабов, частично арабских переводов греческих книг. Одним из самых активных переводчиков был*Платон из Тиволи*, который изучал арабский язык в Испании около 1116 года и перевел "*Астрономию* (§ 59), а также другие астрономические книги. Примерно в то же время *Элементы* Евклида, среди других книг, были переведены *Ательяром из Бата*. *Герардо Кремонский* (1114-1187) был еще более трудолюбивым и, как говорят, перевел около 70 научных трактатов, включая *Альмагест* и *Толетанские таблицы* Арзакеля (§ 61). Начало 13 века ознаменовалось основанием нескольких университетов, а в Неаполе (основан в 1224 году) император Фридрих II, который познакомился с магометанской ученостью на Сицилии, собрал вместе ряд ученых, которым он поручил сделать новую серию переводов с арабского.

Труды Аристотеля по логике сохранились в латинских переводах с классических времен и уже пользовались большим уважением ученых 11-12 веков. Другие его труды были впервые встречены в арабских версиях и переведены на латынь в конце 12-го и в течение 13-го веков; в одном или двух случаях переводы также были сделаны с греческого оригинала. Влияние Аристотеля на средневековую мысль, и без того значительное, вскоре стало почти безраздельным, и многие ученые относились к его работам с почтением, равным или превышающим то, которое испытывали к Отцам церкви.

Западные знания арабской астрономии были значительно расширены благодаря деятельности *Альфонсо X.* короля Леона и Кастилии (1223-1284), который собрал в Толедо, недавно завоеванном арабами, группу ученых, евреев и христиан, которые под его общим руководством составили набор новых астрономических таблиц, заменивших *толетанские*. Эти

альфонсинские таблицы были опубликованы в 1252 году, в день восшествия на престол Альфонсо, и быстро распространились по Европе. В них не было воплощено никаких новых идей, но некоторые числовые данные, в частности продолжительность года, были приведены с большей точностью, чем раньше. Альфонсо также обязан публикацией *Libros del Saber*, объемистой энциклопедии астрономических знаний того времени, которая, хотя и была составлена в основном из арабских источников, не была, как иногда думали, простым собранием переводов. Одним из курьезов в этой книге является диаграмма, представляющая орбиту Меркурия в виде эллипса, в*центре* (cf. chapter VII., § 140), this being вероятно, первый намек на идею представления небесных движений с помощью кривых, отличных от окружностей.,,

67. К 13 веку принадлежат также несколько великих ученых, таких как *Альбертус Великий*, *Роджер Бэкон* и *Чекко д'Асколи* (у которого учился Данте), которые переняли все знания для своей провинции. Роджер Бэкон, родившийся в Сомерсетшире около 1214 года и умерший около 1294 года, написал три основные книги, названные соответственно "*Опус Майус"*, "*Опус минус"* и "*Опус Терций"*, которые содержали не только трактаты по большинству существующих отраслей знания, но и некоторые чрезвычайно интересные обсуждения их относительной важности и правильного метода продвижения в обучении. Он горячо критикует чрезмерную приверженность авторитетам, особенно авторитету Аристотеля, книги которого он желает сжечь, и решительно заявляет о важности эксперимента и математических рассуждений в научных исследованиях. Очевидно, он хорошо разбирался в оптике и, как предполагалось, был знаком с телескопом, предположение, которое мы вряд ли можем считать подтвержденным его рассказом о том, что об изобретении было известно Цезарю, который, собираясь вторгнуться в Британию, обозревал новую страну с противоположных берегов Галлии с помощью телескопа!

Еще одна известная книга того периода была написана йоркширцем Джоном Галифаксом или Холивудом, более известным под латинизированным именем *Сакробоско*, который некоторое время был известным преподавателем математики в Париже, где и умер около 1256 года. Его*Sphaera Mundi* представляет собой элементарный трактат о простых разделах современной астрономии, в котором фактически рассматриваются небольшие, но более очевидные результаты ежедневного движения небесной сферы. Она пользовалась огромной популярностью в течение трех или четырех столетий и часто редактировалась, переводилась и комментировалась: это была одна из самых первых астрономических книг, когда-либо напечатанных; с 1472 по конец века вышло 25 изданий, а к середине 17 века - еще 40.

68. Европейские писатели Средних веков, которых мы до сих пор упоминали, за исключением Альфонсо и его помощников, довольствовались сбором и систематизацией тех фрагментов астрономических знаний греков и арабов, которыми они могли овладеть; серьезных попыток добиться прогресса не предпринималось, и не было сделано никаких важных наблюдений. Однако в 15 веке в Германии выросла новая школа, которой удалось внести некоторые дополнения в знания, сами по себе не имеющие первостепенной важности, но знаменующие большую независимость, которая начала вдохновлять научную работу.*Георг Пурбах*, родившийся в 1423 году, в 1450 году стал профессором астрономии и математики в Венском университете, который вскоре после своего основания (1365 год) стал центром изучения этих предметов. Там он начал*Изложение астрономии,* основанное на *"Альмагесте"*, а также латинскую версию планетной теории Птолемея, задуманную частично как дополнение к учебнику Сакробоско, из которого эта часть предмета была опущена, но частично также как

трактат более высокого порядка; но в обоих начинаниях ему мешала плохая качество единственных доступных версий *"Альмагеста"*— латинских переводов, которые были сделаны не непосредственно с греческого, а, во всяком случае, посредством арабского и, очень возможно, также на сирийском языке (ср.§ 56), и который, следовательно, изобиловал ошибками. В этой работе ему помогал его более известный ученик Джон Мюллер из Кенигсберга (во Франконии), отсюда известный как*Региомонтанус*, которого репутация Пурбаха привлекла в Вену в возрасте 16 лет (1452). Два астронома провели некоторые наблюдения и укрепились в своем убеждении в необходимости астрономических реформ из-за серьезных неточностей, которые они обнаружили в *таблицах Альфонсина*, которым уже два столетия; например, лунное затмение произошло с часовым опозданием, а Марс был виден на 2 ° от своего расчетного местоположения. Пурбах и Региомонтанус были приглашены в Рим одним из кардиналов, в основном с целью изучения экземпляра*Альмагеста*, содержащегося среди греческих рукописей, которые после падения Константинополя (1453 г.) поступили в Италию в значительном количестве, и они уже собирались начать, когда старец внезапно умер (1461 г.).

Региомонтанус, решивший уехать, несмотря на смерть Пурбаха, провел в Италии в общей сложности семь лет; там он приобрел хорошие знания греческого языка, который уже начал изучать в Вене, и, таким образом, смог прочитать*"Альмагест"* и другие трактаты в оригинале; он завершил *"Астрономию"*Пурбаха, сделал некоторые наблюдения, читал лекции, написал математический трактат42 значительных достоинств и, наконец, вернулся в Вену в 1468 году с оригиналами или копиями нескольких важных греческих рукописей. Некоторое время он был там профессором, но затем принял приглашение короля Венгрии собрать ценную коллекцию греческих рукописей. Король, однако, вскоре переключил свое внимание с греческого на боевые действия, и Региомонтанус снова переехал, на этот раз поселившись в Нюрнберге, в то время одном из самых процветающих городов Германии, особой достопримечательностью которого было то, что там была установлена одна из первых типографий. Жители Нюрнберга приняли Региомонтана с большим почетом, и в частности, один богатый человек, *Бернард Вальтер* (1430-1504), не только предоставил ему средства, но, хотя и был старше его, стал его учеником и работал с ним. Искусные ремесленники Нюрнберга были заняты изготовлением астрономических инструментов точности, доселе неизвестной в Европе, хотя, вероятно, все еще уступающей инструментам Нассира Эддина и Улуг-Бека (§§ 62, 63). Был сделан ряд наблюдений, среди которых наиболее интересными были наблюдения за кометой 1472 года, первой кометой, которая, по-видимому, рассматривалась как предмет научного изучения, а не суеверного ужаса. Региомонтанус сразу осознал важность для своей работы нового изобретения книгопечатания и, вероятно, обнаружив, что существующие печатные станки не в состоянии удовлетворить особые требования астрономии, основал собственный печатный станок. Здесь он выпустил в 1472 или 1473 году издание книги Пурбаха по теории планет, которая вскоре стала популярной и часто переиздавалась. Эта книга ясно указывает на уже ощущающееся расхождение между взглядами Аристотеля и Птолемея. Первоначальная точка зрения Аристотеля заключалась в том, что солнце, луна, пять планет и неподвижные звезды были прикреплены соответственно к восьми сферам, одна внутри другой; и что внешняя сфера, содержащая неподвижные звезды, своим обращением была основной причиной видимого ежедневного движения всех небесных тел. Открытие прецессии потребовало от тех, кто продолжал аристотелевскую традицию, добавления еще одной сферы. Согласно этой схеме, которая, вероятно, была создана некоторыми переводчиками или комментаторами в Багдаде (§

56), неподвижные звезды находились на сфере, часто называемой **небесным сводом**, а за ее пределами находилась девятая сфера, известная как **primum mobile**, которая перемещала все остальные; еще одна сфера была добавлена Табитом бен Коррой для объяснения трепета (§ 58), и принята Альфонсо и его школой; одиннадцатая сфера была добавлена к концу средневековья для объяснения предполагаемого изменение наклона эклиптики. Несколько авторов изобрели большее число. За пределами этих сфер средневековая мысль обычно помещала Эмпиреи, или Небеса. Прилагаемая диаграмма иллюстрирует всю схему.

Рис. 36.—Небесные сферы. Из "*Космографии*.

Эти сферы, которые были почти полностью причудливыми и несерьезно даже претендовали на объяснение деталей небесных движений, конечно, сильно отличаются от кругов, известных как деференты и эпициклы, которые использовали Гиппарх и Птолемей. Это были простые геометрические абстракции, которые позволяли представить движение планет с приемлемой точностью. Каждая планета свободно перемещалась в пространстве, ее движение представлялось или описывалось (не *контролировалось*) определенным геометрическим

расположением окружностей. Пурбах предложил компромисс, выдолбив хрустальные сферы Аристотеля до тех пор, пока внутри не останется места для эпициклов Птолемея!

Издательством new Nürnberg press была выпущена также серия альманахов, которые, как и современные, давали публике полезную информацию о подвижных праздниках, фазах луны, затмениях и т.д.; и, кроме того, том менее популярных*эфемерид*, содержащий более полную и точную астрономическую информацию за период примерно в 30 лет. В нем содержались,среди прочего, астрономические данные для определения широты и долготы в море, для чего Региомонтанус изобрел новый метод.43

Превосходство этих таблиц над любыми другими было таково, что они использовались в нескольких великих открытиях того периода, вероятно, самим Колумбом в его первом путешествии в Америку.

В 1475 году Региомонтан был приглашен папой римским для оказания помощи в реформе календаря, но умер там на следующий год в возрасте сорока лет.

Вальтер продолжил работу своего друга и сделал ряд хороших наблюдений; он был первым, кто предпринял сколько-нибудь успешную попытку учесть атмосферную рефракцию, о которой Птолемей, вероятно, имел некоторые сведения (глава II.,§ 46); ему также обязана практика определения положения солнца путем сравнения с Венерой, а не с Луной (глава II., § 39), гораздо более медленное движение планеты делало возможной большую точность.

После смерти Вальтера эту работу продолжили другие наблюдатели меньших заслуг, и своего рода Нюрнбергская астрономическая школа просуществовала до 17 века.

69. Несколько второстепенных открытий в астрономии относятся к этому или несколько более позднему периоду, и их удобно рассматривать здесь.

леонардо да Винчи (1452-1519), который был не только великим художником и скульптором, но и анатомом, инженером, механиком, физиком и математиком, был первым, кто правильно объяснил тусклое освещение остальной части луны, когда яркая часть представляет собой всего лишь тонкий полумесяц. Он указал, что, когда Луна была почти в новолуние, половина земли, которая тогда освещалась солнцем, была обращена почти прямо к Луне, и что вследствие этого луна была слегка освещена этим **земным светом**, точно так же, как мы освещены лунным светом. Объяснение интересно само по себе, а также имело определенную ценность, поскольку показывало аналогию между землей и Луной, которая имела тенденцию разрушать предполагаемый барьер между земными и небесными телами (глава VI.,§ 119).

Джером Фракастор (1483-1543) и *Питер Апиан* (1495-1552), два обширных автора по астрономии, провели наблюдения комет, представляющие определенный интерес, оба заметили, что хвост кометы постоянно направлен в сторону от солнца, когда комета меняет свое положение, факт, который использовался в наше время, чтобы пролить некоторый свет на структуру комет (глава XIII, § 304).

Питер Нониус (1492-1577) заслуживает упоминания из-за знаний о сумерках, которыми он обладал; несколько проблем, касающихся продолжительности сумерек, их изменения в разных широтах и т.д., Были им правильно решены; но в остальном его многочисленные книги не представляют большого интереса.44

Новое определение размера земли, первое со времен халифа Аль-Мамуна (§ 57), было сделано около 1528 года французским врачом *Джоном Фернелем* (1497-1558), который пришел к результату, погрешность которого (менее 1%) была намного меньше, чем можно было разумно ожидать при использовании грубых методов.

Жизнь Региомонтана на три года перекрывала жизнь Копперника; четверо названных последними писателей были почти его современниками; и поэтому можно сказать, что мы подошли к концу сравнительно неподвижного периода, рассматриваемого в этой главе.

ГЛАВА IV.
КОППЕРНИКУС.

“Но в наш век один редкий витте (видя постоянные ошибки, которые время от времени обнаруживались все более и более постоянно, помимо бесконечных абсурдов в их Теориях, которые они были вынуждены признать, которые не признавали никакой Подвижности в шаре Земли) путем длительного изучения, плодотворной практики и редкого изобретения выдвинул новую Теорию или Модель мира, показывающую, что Земля покоится не в Центре всего мира или шара элементов, который окружен и заключен в кольцо Луны”. орбита и вместе со всем земным шаром ежегодно совершается вокруг Солнца, которое, подобно царю в середине всего сущего, совершает рейн и задает законы движения всему остальному, сферически рассеивая свои великолепные лучи света по всему этому священному Храму целестиаля".

Томас Диггз, 1590 год.

70. Растущий интерес к астрономии, проявленный работами таких людей, как Региомонтан, был одним из первых результатов в области науки великого движения мысли, различным аспектам которого даны названия Возрождения обучения, Ренессанса и Реформации, движение можно рассматривать прежде всего как общее оживление интеллекта и интереса к вопросам мысли и знания. Изобретение книгопечатания в начале 15 века, стимул к изучению греческих авторов, отчасти благодаря ученым, которые были изгнаны на запад после захвата Константинополя турками (1453), и открытие Америки Колумбом в 1492 году - все это способствовало движению, начало которого следует искать гораздо раньше.

Каждый стимул к развитию интеллекта естественным образом влечет за собой тенденцию к исследованию мнений, полученных в результате традиции и основанных на каком-либо большом авторитете. Эффективное открытие и изучение греческих философов, отличных от Аристотеля, естественно, во многом поколебало высший авторитет этого великого философа, точно так же, как реформаторы поколебали авторитет Церкви, указав на то, что они считали несоответствиями между ее доктринами и доктринами Библии. Сначала было мало общепризнанных возражений против принципа, согласно которому истину следует извлекать из какого-либо авторитета, а не искать самостоятельно в свете разума; новые ученые заменили

авторитет Аристотеля авторитетом Платона или греческой и римской древности в целом, а религиозные реформаторы заменили Церковь Библией. Естественно, однако, что конфликт между авторитетами породил в некоторых умах скептицизм по отношению к самому принципу авторитета; когда нужно было использовать свободу суждения до такой степени, чтобы принимать решения между авторитетами, это был всего лишь шаг вперед — шаг, на который, правда, пошли сравнительно немногие, — использовать индивидуальное суждение по самому рассматриваемому вопросу.

В астрономии конфликт между авторитетами уже возник, частично в связи с определенными расхождениями между Птолемеем и Аристотелем, частично в связи с различными астрономическими таблицами, которые, хотя и строились по существу одинаково, отличались в незначительных пунктах. Таким образом, настало время для некоторой фундаментальной критики традиционной астрономии и для ее реконструкции на новой основе.

Такое фундаментальное изменение было спланировано и разработано великим астрономом, работа которого будет рассмотрена далее.

71. *Николас* Копперник или *Копперникус*45 родился 19 февраля 1473 года в доме, который до сих пор сохранился в маленьком торговом городке Торн на Висле. Торн сейчас находится как раз на восточной границе нынешнего королевства Пруссия; во времена Копперника он находился в регионе, над которым король Польши имел своего рода сюзеренитет, точная природа которого была постоянным предметом раздоров между ним, гражданами и Тевтонским рыцарским орденом, претендовавшим на значительную часть соседней страны. Отец астронома (чье имя чаще всего писалось Коппернигк) был купцом, приехавшим в Торн из Кракова, тогдашней столицы Польши, в 1462 году. Следует ли считать Копперника поляком или немцем - сложный вопрос, над которым его биографы долго и с некоторой язвительностью бились, но который не стоит здесь дальнейшего обсуждения.

Николас после смерти своего отца в 1483 году находился под опекой своего дяди Лукаса Ватцельроде, впоследствии епископа соседней епархии Эрмланда, и с самого раннего возраста был предназначен им для церковной карьеры. Он посещал школу в Торне, а в возрасте 17 лет поступил в Краковский университет. Здесь он, по-видимому, впервые приобрел (или проявил) определенный вкус к астрономии и математике, предметам, в которых он, вероятно, получал помощь от Альберта Брудзевского, имевшего отличную репутацию образованного и стимулирующего преподавателя; списки лекций Университета показывают, что стандартными учебниками были сравнительно современные трактаты Пурбаха и Региомонтана (глава III.,§ 68). Копперник не собирался заканчивать учебу в Кракове и, вероятно, уехал через три года (1494). В течение следующих года или двух он жил частично дома, частично во дворце своего дяди в Гейльсберге, и некоторое время безуспешно пытался стать каноником во Фрауэнбурге, кафедральном городе епархии его дяди.

Следующие девять или десять лет его жизни (с 1496 по 1505 или 1506 год) были посвящены учебе в Италии, его пребывание там было прервано лишь коротким визитом во Фрауэнбург в 1501 году. Он работал в основном в Болонье и Падуе, но получил высшее образование в Ферраре, а также провел некоторое время в Риме, где его астрономические познания, очевидно, произвели благоприятное впечатление. Хотя предполагалось, что он находился в Италии в первую очередь с целью изучения права и медицины, очевидно, что большая часть его

лучших работ была посвящена математике и астрономии, в то время как он также уделял большое внимание греческому языку.

КОППЕРНИКУС.

Смотреть в лицо стр. 94.

Во время своего отсутствия он был назначен (около 1497 г.) каноником во Фрауэнбурге, а в какой-то неопределенный срок также получил синекурное церковное назначение в Бреслау.

72. По возвращении во Фрауэнбург из Италии Коперник почти сразу же получил новый отпуск и присоединился к своему дяде в Гейльсберге, якобы в качестве его медицинского консультанта, а на самом деле в качестве компаньона.

Вероятно, именно в спокойные годы, проведенные в Хайльсберге, он впервые сформулировал свои новые идеи об астрономии и написал первый набросок своей книги. Он держал рукопись при себе, время от времени редактируя и переписывая заново, отчасти из желания сделать свою работу как можно более совершенной, отчасти из полного безразличия к репутации вкупе с неприязнью к полемике, которую почти наверняка вызвала бы публикация его книги. В 1509 году он опубликовал в Кракове свою первую книгу - латинский перевод набора греческих букв Феофилакта, интересный тем, что это, вероятно, первый перевод с греческого, когда-либо опубликованный в Польше или прилегающих районах. В 1512 году, после смерти своего дяди, он наконец поселился во Фрауэнбурге, в нескольких комнатах, которые занимал с небольшими перерывами в течение следующих 31 года. Обосновавшись по-настоящему, он принимал участие в ведении дел Капитула: например, он не раз выступал их представителем в различных ссорах с королем Польши и тевтонскими рыцарями; в 1523 году он был генеральным администратором епархии в течение нескольких месяцев после смерти епископа; и в течение двух периодов, в общей сложности составивших шесть лет (1516-1519 и 1520-1521), он жил в замке Алленштайн, управляя частью отдаленного имущества Капитула. В 1521 году ему было поручено составить отчет о жалобах Капитула на тевтонских рыцарей для представления прусским сословиям, а в следующем году он написал меморандум о плохом и запутанном состоянии чеканки монет в округе, документ, который также был передан Сословиям и впоследствии был переписан на латыни по особой просьбе епископа. Он также дал определенное количество медицинских советов своим друзьям, а также беднякам Фрауэнбурга, хотя он никогда не практиковал регулярно как врач; но, несмотря на эти различные занятия, вероятно, что очень большая часть его времени в течение последних 30 лет жизни была посвящена астрономии.

73. Мы настолько привыкли связывать возрождение астрономии, как и других отраслей естествознания, с возросшей тщательностью в сборе наблюдаемых фактов и думать о Копернике как о главном деятеле возрождения, что здесь стоит подчеркнуть тот факт, что он ни в коем случае не был великим наблюдателем. Его инструменты, которые были в основном его собственной конструкции, были намного хуже инструментов Нассир Эддина и Улугбека (глава III.,§ § 62, 63) и даже не так хороши, как те, которые он мог бы раздобыть при желании в мастерских Нюрнберга; его наблюдений было совсем немного (всего 27, которые приведены в его книге, и дюжины две помимо известных), и он, по-видимому, не предпринимал серьезных попыток добиться большой точности. Его определение положения одной звезды, которое широко использовалось им в качестве эталона и поэтому имело особое значение, было ошибочным почти на 40 футов (больше, чем видимая ширина солнца или Луны), ошибка, которую Гиппарх счел бы очень серьезной. Его ученик Ретик (§ 74) сообщает об интересной дискуссии между ним и его учителем, в которой ученик настаивал на важности проведения наблюдений со всей мыслимой точностью; Коперник ответил, что в то время не стоит ожидать мельчайшей точности и что приблизительное соответствие между теорией и наблюдением - это все, чего он мог надеяться достичь. Более того, Коперникус во многих местах указывает, что высокая широта Фрауэнбурга и густота воздуха были настолько пагубны для хорошего наблюдения, что, например, хотя ему иногда удавалось увидеть планету Меркурий, он никогда не мог наблюдать ее должным образом.

Хотя он не опубликовал ничего важного до конца своей жизни, его репутация астронома и математика, по-видимому, утвердилась среди экспертов со дня его отъезда из Италии и с течением времени неуклонно росла.

В 1515 году с ним консультировался комитет, назначенный Латеранским собором для рассмотрения реформы календаря, который к настоящему времени пришел в некоторую путаницу (глава II., § 22), но он отказался давать какие-либо советы на том основании, что движения солнца и луны были еще слишком несовершенно известны, чтобы была возможна удовлетворительная реформа. Несколько лет спустя (1524 г.) он написал открытое письмо, предназначенное для публикации, одному из своих краковских друзей в ответ на трактат о прецессии, в котором, в духе того времени, он использовал резкие выражения об ошибках своего оппонента.46

Тем временем постепенно становилось известно, что он придерживался новой доктрины о том, что земля находится в движении, а солнце и звезды в состоянии покоя, доктрины, которая была достаточно поразительной, чтобы привлечь внимание за пределами астрономических кругов. Примерно в 1531 году он отличился тем, что был высмеян на сцене какого-то популярного представления по соседству; и интересно отметить (особенно в свете знаменитого преследования Галилея в Риме столетием позже), что Лютер в своей*застольной беседе* откровенно назвал Копперника дураком за то, что он придерживался таких мнений, которые явно противоречили Библии, и что Меланхтон, возможно, самый образованный из реформаторов, добавил к несколько схожей критике широкий намек на то, что с подобными мнениями мириться не следует. Coppernicus, похоже, не обратил внимания на эти или подобные атаки и по-прежнему продолжал ничего не публиковать. В его великой книге, которая, по-видимому, была почти в своем окончательном виде к этой дате, нет наблюдений, сделанных позднее 1529 года; и примерно к этому времени относится чрезвычайно интересная статья, известная как *Commentariolus*, которая содержит краткий отчет о его системе мира с некоторыми доказательствами этого, но без каких-либо расчетов. Очевидно, она была написана для показа или одолжения друзьям и не была опубликована; рукопись исчезла после смерти автора и была вновь открыта только в 1878 году.*Commentariolus*, вероятно, был положен в основу лекции об идеях Копперника, прочитанной в 1533 году одним из римских астрономов по просьбе папы Климента VII. Три года спустя кардинал Шомберг написал Коппернику с просьбой предоставить дополнительную информацию относительно его взглядов, из письма было видно, что основные черты уже были довольно точно известны.

74. С подобными просьбами, должно быть, обращались и другие, но его окончательное решение опубликовать свои идеи, по-видимому, было связано с прибытием во Фрауэнбург в 1539 году молодого астронома-энтузиаста, широко известного как*Ретикус*.47 Он родился в 1514 году, изучал астрономию под руководством Шонера в Нюрнберге, а в 1536 году был назначен на одну из кафедр математики, созданных под влиянием Меланхтона в Виттенберге, в то время главном протестантском университете.

Услышав, вероятно, через *Commentariolus*, о Копернике и его доктринах, он настолько заинтересовался ими, что решил навестить великого астронома во Фрауэнбурге. Копперникус принял его с чрезвычайной добротой, и визит, который первоначально должен был продлиться несколько дней или недель, растянулся почти на два года. Ретикус приступил к изучению

рукописи Коперника и в течение нескольких недель после своего прибытия написал чрезвычайно интересный и ценный отчет о ней, известный как Первое повествование (*Prima Narratio*), в форме открытого письма своему старому учителю Шонеру, письма, которое было напечатано следующей весной и стало первым легкодоступным изложением новых доктрин.48

Когда Ретикус вернулся в Виттенберг ближе к концу 1541 года, он взял с собой копию чисто математического раздела великой книги и приказал напечатать его в качестве учебника по этому предмету (тригонометрии); вероятно, уже было решено, что он будет руководить печатанием всей книги целиком. Коперник, который теперь был стариком и, естественно, чувствовал приближение своего конца, отправил рукопись своему другу Гизе, епископу Кульмскому, чтобы тот делал все, что ему заблагорассудится. Гизе сразу же отправил его Ретику, который договорился о том, чтобы его напечатали в Нюрнберге. К сожалению, Ретикус не смог ознакомиться со всем этим в прессе, и работу пришлось доверить Осиандеру, лютеранскому проповеднику, интересовавшемуся астрономией. Осиандер, по-видимому, был сильно встревожен мыслью о беспорядках, которые могли вызвать еретические идеи Коперника, и добавил собственное предисловие (которое он не стал подписывать), в котором вульгарно восхвалял книгу и заявлял (что совершенно противоречило взглядам автора), что изложенные в ней фундаментальные принципы были всего лишь абстрактными гипотезами, удобными для расчетов; он также дал книге название *De Revolutionibus Orbium Celestium* ("О вращении небесных сфер"), последнее название книги. два слова из которых, вероятно, были его собственным дополнением. Печатание было закончено зимой 1542-1543 годов, и автор получил экземпляр своей книги в день своей смерти (24 мая 1543 года), когда его память и умственные силы уже покинули его.

75. Центральная идея, с которой связано имя Коперника и которая делает "*О революции"* одной из важнейших книг во всей астрономической литературе, рядом с которой, возможно, можно поставить только "*Альмагест"* и "*Принципы* Ньютона" (глава IX, §§ 177 *далее*), заключается в том, что видимые движения небесных тел в значительной степени не являются реальными движениями, а обусловлены движением земли, увлекающей наблюдателя за собой . Коперник рассказывает нам, что его давно поражала неудовлетворительная природа современных объяснений астрономических наблюдений, и что, ища в философских трудах какое-нибудь лучшее объяснение, он нашел ссылку Цицерона на мнение Гикеты о том, что земля ежедневно обращается вокруг своей оси. Он обнаружил, что схожих взглядов придерживались другие пифагорейцы, в то время как Филолай и Аристарх Самосский также считали, что земля не только вращается, но и полностью движется вокруг солнца или какого-либо другого центра (ср. главу II,§ 24). Мнение о том, что земля не является единственным центром движения, но что Венера и Меркурий вращаются вокруг солнца, он счел древнеегипетским верованием, поддержанным также*Мартианом Капеллой*, который написал сборник научных трудов и философии в 5 или 6 веке н.э. Более современный авторитет,*Николай Кузанский* (1401-1464), писатель-мистик, который ссылается на возможное движение земли, был проигнорирован или не замечен Коперником. Ни один из названных здесь авторов, за возможным исключением Аристарха Самосского, которому Коперник, по-видимому, уделял мало внимания, не представил процитированные мнения как нечто большее, чем расплывчатые предположения; ни один из них не привел каких-либо существенных обоснований, а тем более доказательств своих взглядов; и Копернику, хотя он, возможно, был рад, по моде того времени, заручиться поддержкой признанных авторитетов, пришлось практически начинать все сначала и разрабатывать собственные доказательства в пользу своих мнений.

Иногда говорят, что Копперник *доказал* то, о чем догадывались или предлагали более ранние авторы; возможно, правильнее было бы сказать, что он взял определенные плавучие идеи, которые были чрезвычайно расплывчатыми и никогда не разрабатывались научно, основал на них определенные фундаментальные принципы и на основе этих принципов математически разработал астрономическую систему, которая, как он показал, по крайней мере, так же способна объяснить наблюдаемые небесные движения, как и любая существующая разновидность традиционной системы Птолемея. Система Копперника в том виде, в каком она вышла из рук автора, фактически решительно превосходила своих соперников в объяснении обычных наблюдений, и этим преимуществом она была обязана как математическому мастерству, с которым она была разработана, так и своим первым принципам; она была во многих отношениях намного проще; и она позволяла избежать некоторых фундаментальных трудностей старой системы. Однако это вызвало определенные серьезные возражения, которые были преодолены только благодаря новым доказательствам, которые впоследствии были обнародованы. У предшественников Копперника существовала, не считая вариаций второстепенной важности, но одна научная система, в которой предпринимались сколько-нибудь серьезные попытки объяснить известные факты; у его непосредственных преемников их было две, более новая из которых беспристрастному уму в целом показалась бы более удовлетворительной, и дальнейшее изучение двух систем с целью обнаружения свежих аргументов или наблюдений, стремящихся поддержать ту или иную, было немедленно предложено в качестве исследования первостепенной важности.

76. План *De Revolutionibus* имеет общее сходство с планом *Альмагеста*. По крайней мере, по форме эта книга не является главным аргументом в пользу движения земли, и ее можно читать большую часть, даже не замечая присутствия этой доктрины.

Coppernicus, как и Птолемей, начинается с определенной первый прин- ципах или постулаты, но с учетом их новизны требует немного больше хлопот, чем его предшественник (см. МФ. Глава II.,§ 47), чтобы сделать их сразу представляется вероятным. Взяв за основу эти постулаты, он приступает к разработке посредством сложных и довольно утомительных математических рассуждений, подкрепляемых то тут, то там ссылками на наблюдения, подробных схем различных небесных движений; и именно согласованностью этих расчетов с наблюдениями в гораздо большей степени, чем общими рассуждениями, приведенными в начале, различные постулаты фактически оправданы.

Его первый постулат о том, что Вселенная сферическая, подтверждается расплывчатыми и неубедительными причинами, подобными тем, которые приводил Птолемей и другие; в отношении сферической формы земли он приводит несколько обычных веских аргументов, одним из его доказательств ее искривления с востока на запад является тот факт, что затмения, видимые в одном месте, не видны в другом. Третий постулат, гласящий, что движения небесных тел представляют собой равномерные круговые движения или составлены из таких движений, подтверждается, как и следовало ожидать, только причинами самого неудовлетворительного характера. Он утверждает, например, что любое отсутствие равномерности в движении

“должно возникать либо из-за неравномерности движущей силы, будь то внутри тела или вне его, либо из-за некоторой неравномерности вращения тела.... И от того, и от другого интеллект с ужасом отшатывается, считая недостойным придерживаться такого взгляда на тела, которые устроены в самом совершенном порядке”.

77. Затем следует обсуждение возможности того, что земля может двигаться и даже может иметь более одного движения, и оно более удовлетворительно, хотя ни в коем случае не является окончательным. Копперник твердо усвоил принцип, который также сформулировал Аристотель, иногда известный как принцип относительного движения, который он формулирует примерно следующим образом:

“Ибо всякое изменение положения, которое мы видим, происходит из-за движения либо наблюдателя, либо предмета, на который мы смотрим, либо из-за изменения положения обоих, при условии, что они различны. Ибо, когда предметы движутся одинаково относительно одних и тех же вещей, не ощущается никакого движения, как между видимым объектом и наблюдателем”.49

Копперник не приводит никаких доказательств этого принципа, считая его, вероятно, достаточно очевидным, если его однажды сформулировать, для математиков и астрономов, для которых он писал. Однако это настолько фундаментально, что, возможно, стоит обсудить его чуть более подробно.

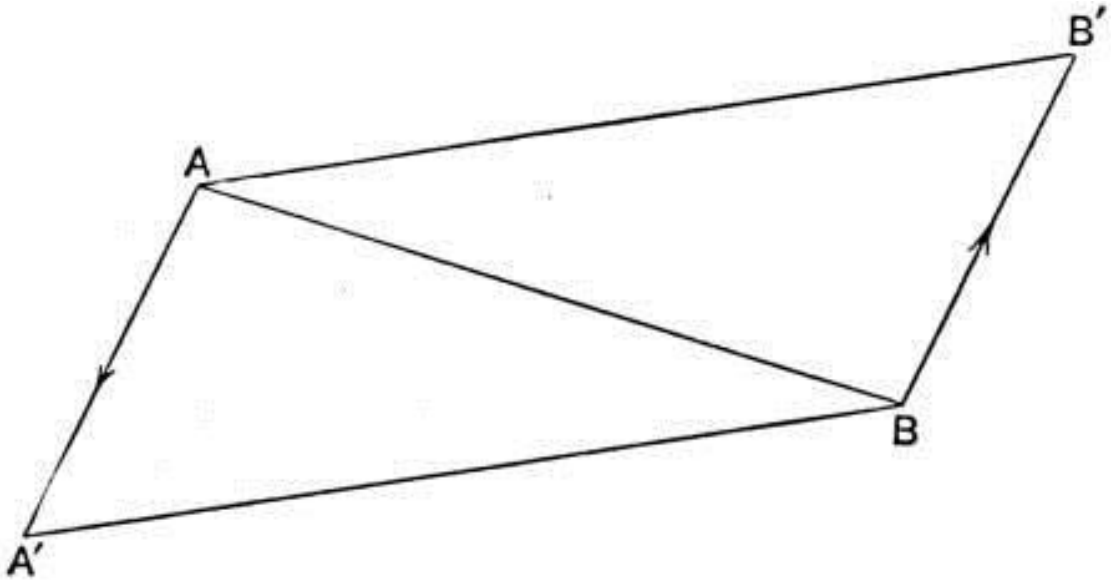


Рис. 37.Относительное движение.

Пусть, например, наблюдатель находится в точке A, а объект - в точке B, тогда независимо от того, перемещается ли объект из точки B в точку B', наблюдатель остается в состоянии покоя, или наблюдатель перемещается на *равное* расстояние в *противоположном* направлении, из точки A в точку A', объект остается в состоянии покоя, эффект для глаза будет точно таким же, поскольку в любом случае расстояние между наблюдателем и объектом и направление, в котором виден объект, представленные в первом случае A B', а во втором A'B, одинаковы.

Таким образом, если в течение года *либо* солнце последовательно проходит позиции A, B, C, D (рис. 38), при этом земля остается в покое в точке E, *либо* если солнце находится в покое, а земля последовательно проходит позиции *a*, *b*, *c*, *d*, в соответствующее время солнце остается в покое в точке S, на глаз воздействует точно такой же эффект, при условии, что линии *a* S, *b* S, *c*, *d*

S, как показано на рисунке, равны по длине и параллельны по направлению Ea, Eb, Ec, Ed соответственно. То же самое верно и для промежуточных точек, и совершенно одинаковый видимый эффект достигается независимо от того, описывает ли солнце круг A Bc D или земля описывает с той же скоростью равный круг *a bc d*. Далее следует отметить, что, хотя соответствующие движения в двух случаях происходят в одно и то же время в*противоположных* направлениях (как в точках A и *a*), тем не менее каждый круг в целом описывается, как указано стрелками, в *одном и том же* направлении (противоположном движению стрелок часов на приведенных рисунках). Из этого следует таким же образом, что видимое движение (например, планеты) может быть объяснено как обусловленное частично движением объекта, частично движением наблюдателя.

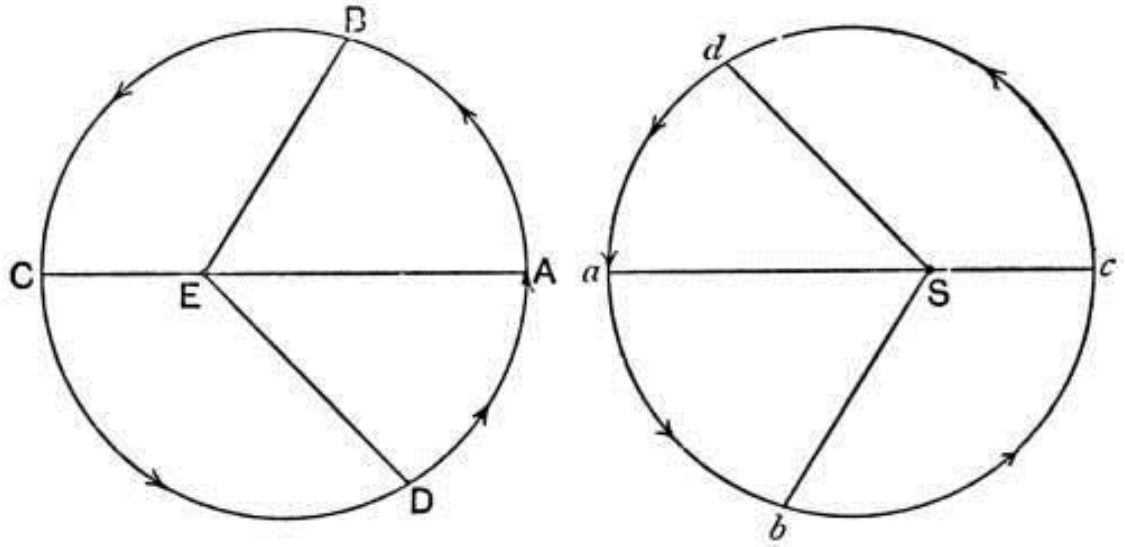


Рис. 38.Относительное движение солнца и луны.

Копперник приводит знакомую иллюстрацию пассажира в лодке, который видит, что земля, по—видимому, удаляется от него, цитируя и объясняя строчку Вергилия:

“Provehimur portu, terræque urbesque recedunt.”

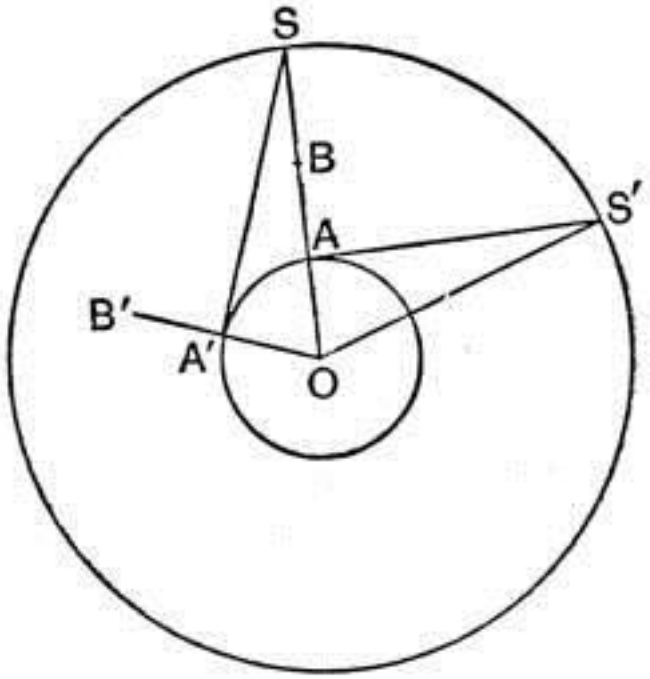


Рис. 39.Суточное вращение Земли.

78. Применение тех же идей к кажущемуся вращению вокруг наблюдателя, как в случае с кажущимся ежедневным движением небесной сферы, несколько сложнее. Следует помнить, что глаз не имеет возможности судить о направлении объекта, взятого сам по себе; он может судить только о разнице между направлением объекта и каким-либо другим направлением, будь то направление другого объекта или направление, определенным каким-либо образом телом наблюдателя. Таким образом, когда, посмотрев на звезду дважды с интервалом времени, мы решаем, что она переместилась, это означает, что ее направление изменилось относительно, скажем, какого-нибудь дерева или дома, которые мы заметили почти рядом с ней, или что ее направление изменилось относительно направления, в котором мы направляем наши глаза или держим наше тело. Такое изменение, очевидно, может быть истолковано как изменение направления либо звезды, либо линии от глаза к дереву, которую мы использовали в качестве ориентира. Чтобы применить это к случаю небесной сферы, предположим, что S представляет звезду на небесной сфере, которая (для простоты) находится над головой наблюдателя на земле в точке A, это определяется путем сравнения с линией Ab, проведенной вертикально на земле. Далее, поскольку предполагается, что земля и небесная сфера имеют общий центр в точке O, давайте предположим, что,*во-первых,* что небесная сфера вращается (в направлении стрелок часов) до тех пор, пока S не достигнет значения S', и что наблюдатель теперь видит звезду на своем горизонте или в направлении, перпендикулярном первоначальному направлению Ab, причем угол поворота небесной сферы равен S O S'; и *во-вторых,* что, поскольку небесная сфера не изменилась, земля вращается в противоположном направлении, пока A B не достигнет значения 'B', и звезда снова видна. наблюдателем на его горизонте. Какое бы из этих движений ни имело место, наблюдатель видит в точности одно и то же видимое движение в небе; и из рисунка сразу видно, что угол S O S', на который предполагалось повернуть небесную сферу в первом случае, равен углу A O A', на который поворачивается земля во втором случае, но что два поворота совершаются в противоположных направлениях. Аналогичное объяснение, очевидно, применимо и к более сложным случаям.

Следовательно, кажущееся ежедневное вращение небесной сферы вокруг оси, проходящей через полюса, было бы одинаково хорошо произведено либо фактическим вращением такого характера, либо вращением земли вокруг оси, также проходящей через полюса, и с той же скоростью, но в противоположном направлении,*т.е.* с запада на восток. Это первое движение, которое Копперник приписывает земле.

79. Кажущееся годовое движение солнца, в соответствии с которым оно, по-видимому, обращается вокруг земли по траектории, близкой к окружности, может быть столь же хорошо объяснено предположением, что солнце находится в состоянии покоя, а земля описывает точно такой же путь вокруг солнца, причем направление вращения одно и то же. Фактически это второе движение, которое Копперник придает земле, хотя из-за особенности своего геометрического метода он подразделяет это движение на два других и объединяет с одним из них еще одно небольшое движение, необходимое для прецессии.50

80. Таким образом, концепция Копперника заключается в том, что земля вращается вокруг солнца в плоскости эклиптики, ежедневно вращаясь вокруг оси, которая постоянно указывает на полюса небесной сферы и, следовательно, сохраняет (за исключением прецессии) фиксированное направление в пространстве.

Следует отметить, что два движения, приписываемые таким образом земле, совершенно различны; каждое требует своего собственного доказательства и объясняет различный набор явлений. Было вполне возможно с совершенной последовательностью верить в одно движение, не веря в другое, как на самом деле делали очень немногие астрономы 16 века (глава V.,§ 105).

Приводя свои доводы в пользу веры в движение земли, Копперник обсуждает основные возражения, на которые настаивал Птолемей. На возражение, что, если бы земля имела быстрое движение вращения вокруг своей оси, земле грозила бы опасность разлететься на куски, и воздух, а также незакрепленные предметы на поверхности остались бы позади, он отвечает, что если такое движение опасно для твердой земли, то оно должно быть гораздо более опасным для небесной сферы, которая из-за своих значительно больших размеров должна была бы двигаться намного быстрее земли, чтобы завершить свое ежедневное вращение; он также вступает в туманное обсуждение разницы между “естественным” и “искусственным” движением, из которых первое можно было бы ожидать, что это ничего не потревожит на земле.

Копперникус показывает, что земля очень мала по сравнению со сферой звезд, потому что, где бы ни находился наблюдатель на земле, горизонт, по-видимому, разделяет небесную сферу на две равные части, и наблюдатель, по-видимому, всегда находится в центре сферы, так что любое расстояние, на которое перемещается наблюдатель по земле, незаметно по сравнению с расстоянием до звезд.

81. Далее он утверждает, что основная неравномерность в движении планет, в силу которой они движутся назад с определенными интервалами (глава I., § 14, и глава II., § 51), может быть легко объяснена в целом движением земли и обращением каждой планеты вокруг Солнца в свое время и на своем расстоянии. Из того факта, что Венеру и Меркурий никогда не видели очень далеко от солнца, можно было сделать вывод, что их пути были ближе к солнцу, чем у земли. Меркурий из них ближе всего к солнцу, потому что никогда не был виден на небе так далеко от него, как Венера. Остальные три планеты, которые иногда видны в направлении,

противоположном направлению движения Солнца, обязательно должны вращаться вокруг солнца по орбитам большим, чем орбита Земли, и эта точка зрения подтверждается тем фактом, что они были самыми яркими, когда находились напротив солнца (в таком положении они были бы ближе всего к нам). Порядок их соответствующих расстояний от солнца можно было бы сразу определить по возмущающему воздействию, оказываемому на их видимые движения движением земли; Сатурн, на который меньше всего влияет движение Земли, в целом должен быть наиболее удаленным от земли, за ним следует Юпитер, а затем Марс. Таким образом, Земля стала одной из шести планет, вращающихся вокруг солнца, причем порядок расстояний — Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн — также соответствовал скорости движения вокруг Солнца: Меркурий совершает свой оборот наиболее быстро (примерно за 88 дней51), Сатурн - наиболее медленно (примерно за 30 лет). В системе Копперника только Луна все еще вращалась вокруг Земли, являясь единственным небесным телом, статус которого по существу не изменился; и, таким образом, Копперник смог дать прилагаемую схему Солнечной системы (рис. 40), отражающую его взгляд на ее общее расположение (хотя и не на правильные пропорции различных частей) и различные движения.

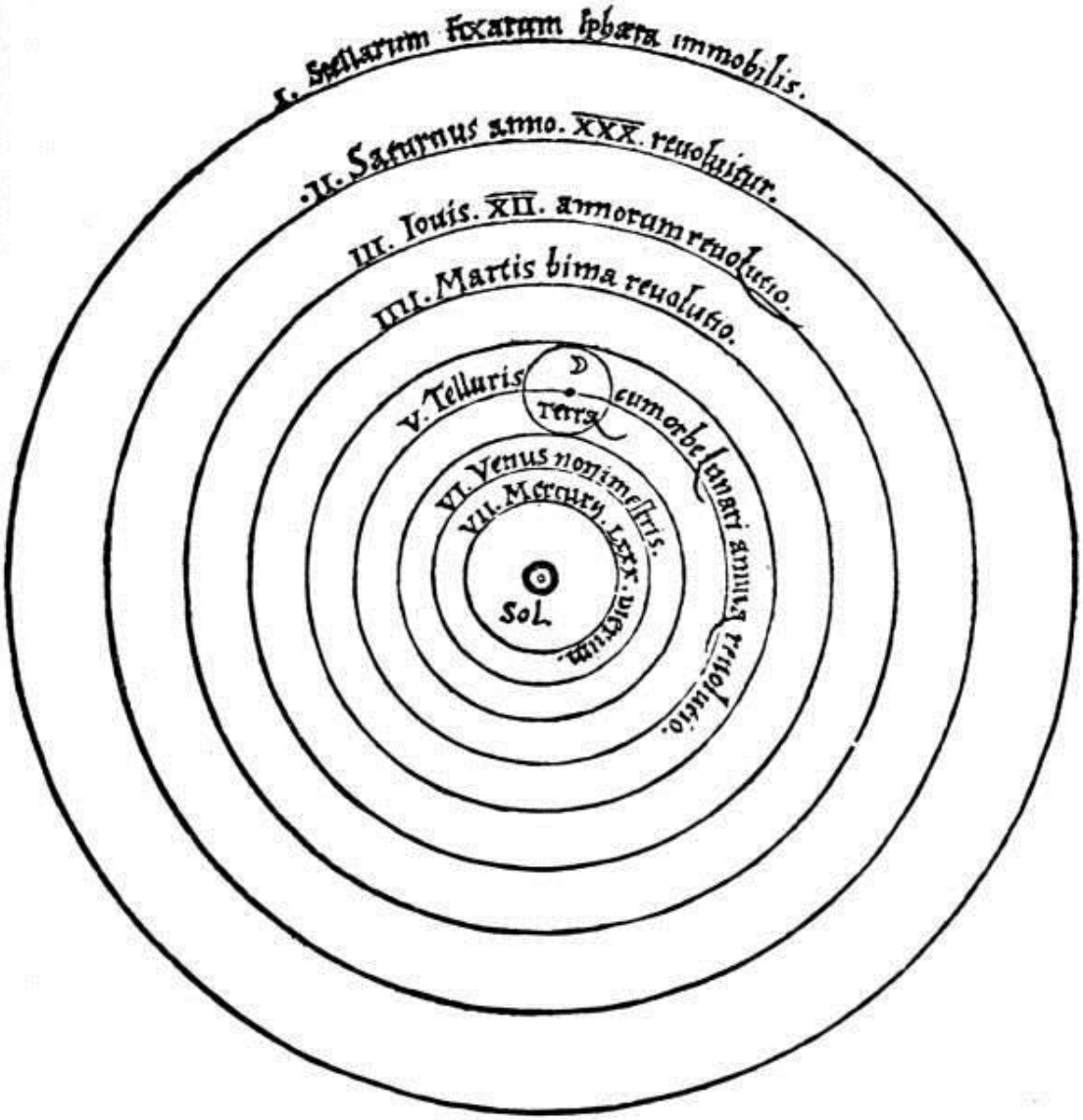


Рис. 40. Солнечная система по Копернику. Из " *Революционного автобуса*.

82. Влияние движения земли вокруг Солнца на продолжительность дня и другие сезонные эффекты обсуждается довольно подробно и иллюстрируется диаграммами, которые здесь воспроизводятся.52

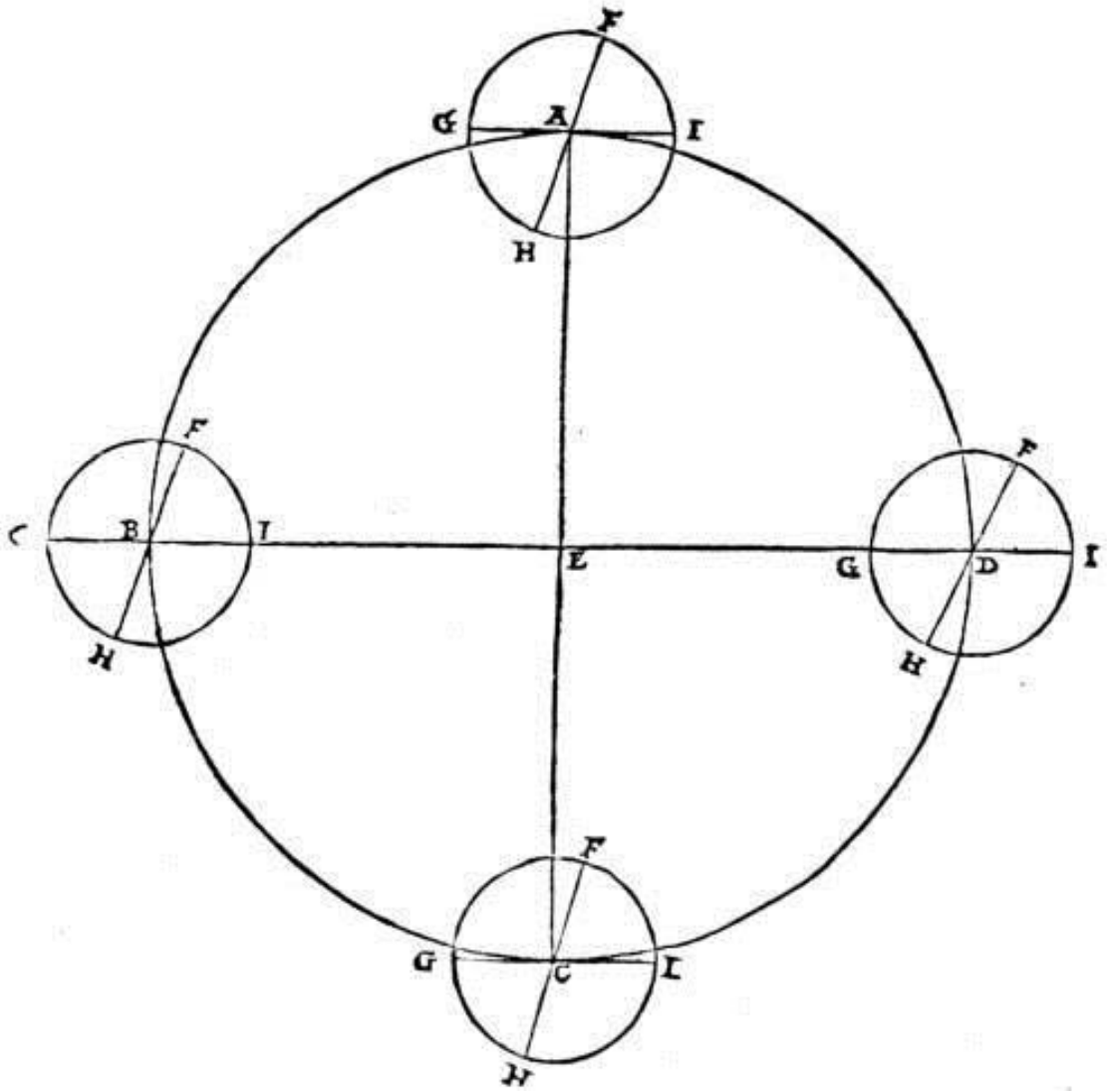


Рис. 41. Объяснение времен года по-Копперникански. Из " *Революционного автобуса*.

На рис. 41 A, B, C, D представляют центр земли в четырех положениях, занимаемых им примерно 23 декабря, 21 марта, 22 июня и 22 сентября соответственно (*т.е.* В начале четырех времен года, согласно астрономическому исчислению); круг F G H I в каждом из своих положений представляет экватор земли, *т.е.* большой круг на земле, плоскость которого перпендикулярна оси земли и, следовательно, всегда параллельна небесному экватору. Этот круг находится не в плоскости эклиптики, а наклонен вверх под углом 23-1/2°, так что F всегда следует предполагать *ниже*, а H *выше* плоскости листа (которая представляет эклиптику); экватор пересекает эклиптику вдоль точки G I. Диаграмма (в соответствии с общепринятым в астрономических диаграммах обычаем) представляет различные круги, видимые с северной стороны экватора и эклиптики. Когда земля находится в точке A, северный полюс (как более

четко показано на рис. 42, где P, P' обозначают северный полюс и южный полюс соответственно) повернут в сторону от солнца, E, которое находится на нижней или южной стороне плоскости экватора, и, следовательно, жители северного полушария видят солнце менее половины дня, в то время как жители южного полушария видят солнце более половины дня, а те, кто находится за линией Kl (на рис. 42) смотрите на солнце в течение всего дня. Три месяца спустя, когда центр земли находится в точке B (рис. 41), солнце находится в плоскости экватора, полюса земли обращены не к солнцу и не от него, а в сторону, и по всей земле дневной свет длится 12 часов, а ночь - столько же. Еще три месяца спустя, когда центр земли находится в точке C, солнце находится над плоскостью экватора, и жители северного полушария видят солнце более половины дня, жители южного полушария - менее половины, в то время как жители частей земли, расположенных севернее линии Mn (на рис. 42) смотрите на солнце в течение всех 24 часов. Наконец, когда в день осеннего равноденствия земля достигает точки D (рис. 41), солнце снова оказывается в плоскости экватора, и день повсюду равен ночи.

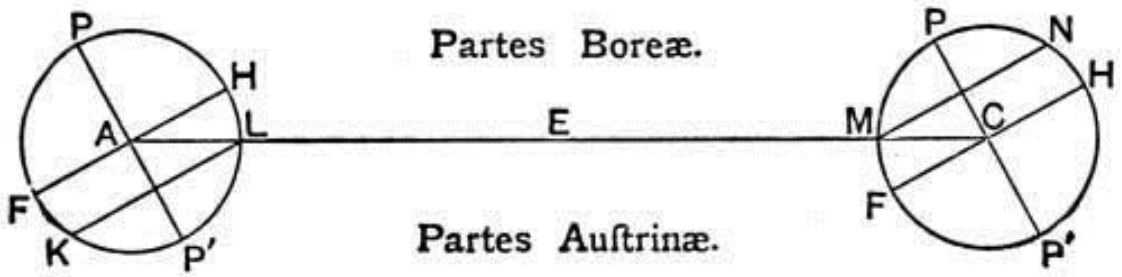


Рис. 42. Объяснение времен года по-Копперникански. Из " *Революционного автобуса*.

83. Копперник посвящает первые одиннадцать глав первой книги этому предварительному наброску своей системы; оставшуюся часть этой книги он заполняет некоторыми математическими положениями и таблицами, которые, как упоминалось ранее (§ 74), уже были отдельно напечатаны Ретиком. Вторая книга содержит в основном ряд обычных результатов, относящихся к небесной сфере и ее видимому ежедневному движению, трактуемых во многом так же, как и более ранними авторами, но с большим математическим мастерством. Попутно Копперник приводит свои измерения наклона эклиптики и делает вывод из сравнения с более ранними наблюдениями, что наклон уменьшился, что и было на самом деле, хотя и в гораздо меньшей степени, чем указывали его несовершенные наблюдения. Книга заканчивается каталогом звезд, составленным Птолемеем, который время от времени корректировался свежими наблюдениями и перестраивался таким образом, чтобы избежать последствий прецессии.53 Когда, как это часто случалось, греческая и латинская версии *Альмагеста* давали из-за ошибок переписчиков или печатников разные результаты, Копперник, по-видимому, следовал иногда латинской, а иногда греческой версии, в целом не пытаясь установить с помощью свежих наблюдений, какая из них верна.

84. Третья книга начинается с подробного обсуждения прецессии равноденствий (глава II,§ 42). Из сравнения результатов, полученных Тимохарисом, более поздними греческими астрономами и Альбатегнием, Копперник делает вывод, что величина прецессии менялась, но что ее среднее значение составляет 50"· 2 в год (почти точное истинное значение), и соответственно принимает неудачное предположение Табита бен Корры о трепете (глава III.,§ 58). Изучение данных, использованных Копперником, показывает, что ошибочные или

подложные наблюдения Птолемея (глава II, § 50) в основном ответственны за сохранение этой ошибки.

Гораздо больший интерес, чем подробное обсуждение трепета и геометрических схем для его представления, представляет интерпретация прецессии как результата движения земной оси. Первоначально Гиппарх рассматривал прецессию как движение небесного экватора, при котором его наклон к эклиптике практически не изменился. Идеи Копперника ставят небесный экватор в зависимость от экватора земли и, следовательно, от ее оси; фактически это большой круг небесной сферы, который всегда перпендикулярен оси, вокруг которой ежедневно вращается земля. Следовательно, прецессия, по теории Копперника, возникает в результате медленного движения оси Земли, которая движется так, чтобы всегда оставаться наклоненной под одним и тем же углом к эклиптике и возвращаться в исходное положение через период примерно в 26 000 лет (поскольку движение на 50 "· 2 в год эквивалентно 360 ° или полному обороту за этот период); другими словами, ось земли имеет медленное коническое движение, центральная линия (или ось) конуса находится под прямым углом к плоскости эклиптики.

85. Поскольку речь идет о прецессии, большая часть оставшейся части третьей книги посвящена подробному обсуждению видимого годового движения солнца вокруг земли, соответствующего реальному годовому движению земли вокруг Солнца. Геометрическая теория *Альмагеста* могла быть немедленно применена к новой системе, и Копперник, как и Птолемей, использует эксцентрик. Он заново производит вычисления, приходит к меньшему и более точному значению эксцентриситета (примерно 1/ 31 вместо 1/24), фиксирует положение апогея и перигея (глава II., § 39), или, скорее, эквивалентных**афелия** и **перигелия** (*т.е.* точек на орбите Земли, где она находится соответственно дальше всего от Солнца и ближе всего к нему), и таким образом подтверждает открытие Альбатегния (глава III., § 59) о движении линии вращения. апсиды. Теория движения Земли разработана довольно подробно, и приведены таблицы, по которым можно легко вычислить видимое положение солнца в любой момент времени.

Четвертая книга посвящена теории Луны. Как уже было замечено, Луна была единственным небесным телом, положение которого во вселенной было существенно изменено Копперником, и, следовательно, можно было ожидать, что в традиционной теории потребовалось бы небольшое изменение. На самом деле, однако, едва ли найдется какая-либо часть предмета, в которой Копперник сделал больше для уменьшения расхождений между теорией и наблюдением. Он отвергает уравнение Птолемея (глава II., § 51), частично на том основании, что оно вызывает нерегулярное движение, неподходящее для небесных тел, частично на более существенном основании, что, как уже указывалось (глава II., § 48), теория Птолемея иногда делает видимый размер Луны вдвое больше, чем в других местах. С помощью расположения эпициклов Копперникy удалось изобразить основные нарушения в движении Луны, включая изгиб, но без прозрения Птолемея (глава II, § 48) или неравенства Абул Вафы (глава III, § 60), в то время как он сделал изменения расстояния до Луны и, следовательно, ее видимых размеров ненамного большими, чем те, которые происходят на самом деле, разница была незаметна при грубых методах наблюдения, которые он использовал.54

В обсуждении расстояний и размеров солнца и луны Копперник внимательно следит за Птолемеем (глава II, § 49; ср. также рис. 20); он приходит к практически такой же оценке

расстояния до Луны, но делает расстояние до солнца в 1500 раз больше радиуса Земли, таким образом, в некоторой степени улучшая традиционную оценку, основанную на Птолемее. Он также довольно подробно описывает влияние параллакса на видимое положение Луны и изменения ее видимого размера из-за различий в расстоянии: и книга заканчивается обсуждением затмений.

86. Две последние книги (V и VI) подробно посвящены движению планет.

В случаях Меркурия и Венеры объяснение движения Птолемея можно было без особых трудностей перестроить так, чтобы оно соответствовало идеям Коперника. Мы видели (глава II,§ 51), что, если пренебречь незначительными отклонениями, движение любой из этих планет можно представить с помощью эпицикла, движущегося по деференту, при этом центр эпицикла всегда находится в направлении солнца, соотношение размеров эпицикла и деферента фиксировано, но фактические размеры практически произвольны. Птолемей в целом предпочитал рассматривать эпициклы обеих этих планет как лежащие между землей и солнцем. Идея сделать солнце центром движения однажды была принята, и было очевидным упрощением сделать так, чтобы центр эпицикла не просто лежал в направлении солнца, а фактически был солнцем. Фактически, если бы рассматриваемая планета вращалась вокруг солнца на надлежащем расстоянии и с надлежащей скоростью, создавались бы те же явления, что и в эпицикле Птолемея и деференте, путь планеты вокруг солнца заменял эпицикл, а видимый путь солнца вокруг земли (или путь земли вокруг солнца) заменял деферент.

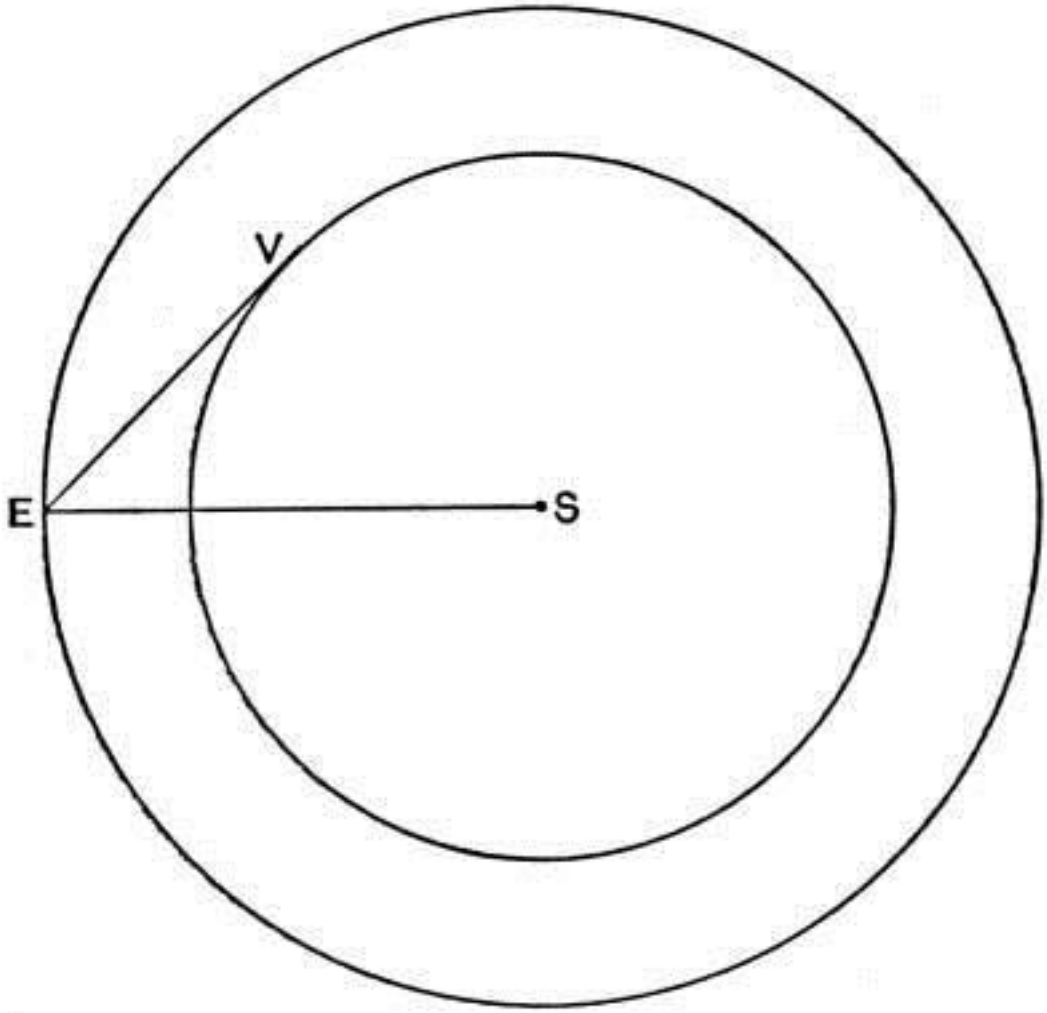


Рис. 43. Орбиты Венеры и Земли.

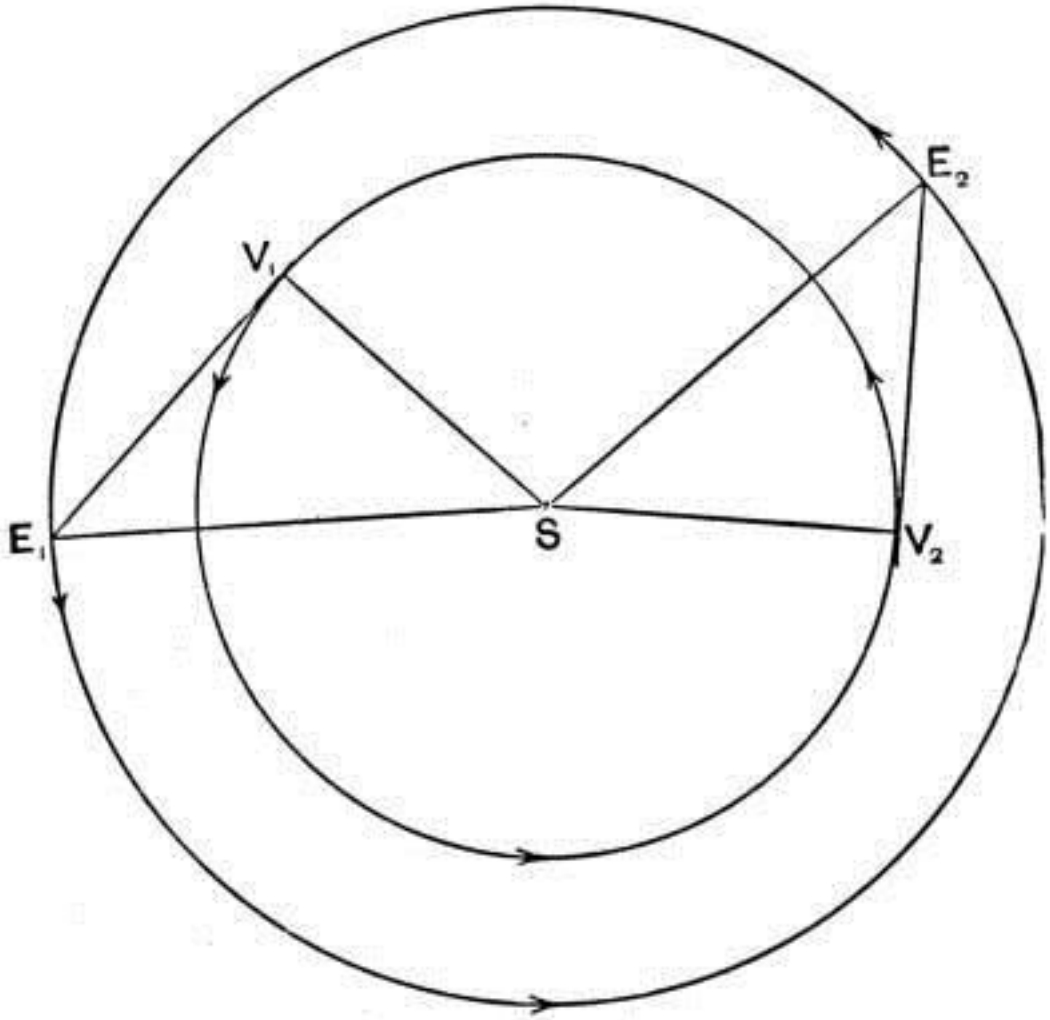


Рис. 44. Синодический и звездный периоды Венеры.

При обсуждении времени обращения планеты необходимо проводить различие, как в случае с Луной (глава II, § 40), между синодическим и сидерическим периодами обращения. Венера, например, видна как вечерняя звезда на наибольшем угловом расстоянии от солнца (как в точке V на рис. 43) с интервалом примерно в 584 дня. Таким образом, это время, которое требуется Венере, чтобы вернуться в то же положение относительно солнца, если смотреть с земли, или относительно земли, если смотреть с солнца; это время называется **синодическим периодом**. Но поскольку за это время линия Es изменила свое направление, Венера больше не находится в прежнем положении относительно звезд, как это видно ни с солнца, ни с земли. Если сначала Венера и земля находятся на отметках V_1, E_1соответственно, то через 584 дня (или примерно за год и семь месяцев) земля совершит более полутора оборотов вокруг солнца и будет находиться на отметке E_2; Венера, снова находящаяся на наибольшем расстоянии от солнца, следовательно, будет находиться на отметке V_2, но, очевидно, будет видна совсем в другой части неба и не совершит точного оборота вокруг Солнца. Важно знать, сколько времени требуется прямой Sv_1, чтобы вернуться в прежнее положение, *т.е.* Сколько времени требуется Венере, чтобы вернуться в прежнее положение относительно звезд, если смотреть с солнца, интервал времени, известный как **звездный период**. Очевидно, это можно вычислить с помощью простой суммы по правилу трех на основе приведенных данных. Ибо Венера за 584

дня совершает полный оборот вокруг земли или проходит столько, сколько прошла бы земля за 584 + 365 или 949 дней (доли днейопускаются для простоты); следовательно, Венера проходит за 584 × 365/949 дней расстояние до земли за 365 дней, *т.е.* Венера завершает оборот за 584 × 365/949 или 225 дней. Следовательно, это звездный период Венеры. Процесс, использованный Копперником, был иным, поскольку он видел преимущество в использовании длительного периода времени, чтобы уменьшить ошибку из-за незначительных неровностей, и поэтому он получил два наблюдения Венеры за значительный промежуток времени, в которых Венера занимала почти одинаковое положение как по отношению к солнцу, так и по отношению к звездам, так что интервал времени содержал почти точное количество звездных периодов, а также синодических периодов. Таким образом, разделив наблюдаемый интервал времени на количество звездных периодов (которое, будучи целым числом, можно было легко оценить), можно было легко получить звездный период. Аналогичный процесс показал, что синодический период Меркурия составлял около 116 дней, а звездный - около 88 дней.

Сравнительные размеры орбит Венеры и Меркурия по сравнению с орбитами Земли можно было легко установить из наблюдений положения каждой планеты на наибольшем удалении от солнца. Венера, например, оказывается на наибольшем расстоянии от солнца, когда находится в точке V_1 (рис. 44), такой, что $V_1 E_1$ касается окружности, по которой движется Венера, и угол $E_1 V_1$, в этом случае (благодаря известному свойству окружности) равен прямому углу. При наблюдении угла $S E_1 V_1$ известна форма треугольника $S E_1 V_1$, и соотношение его сторон можно легко вычислить. Таким образом, Копперник обнаружил, что среднее расстояние Венеры от солнца составляло около 72, а Меркурия - около 36, при этом расстояние Земли от солнца принималось равным 100; соответствующие современные цифры равны 72·3 и 38·7.

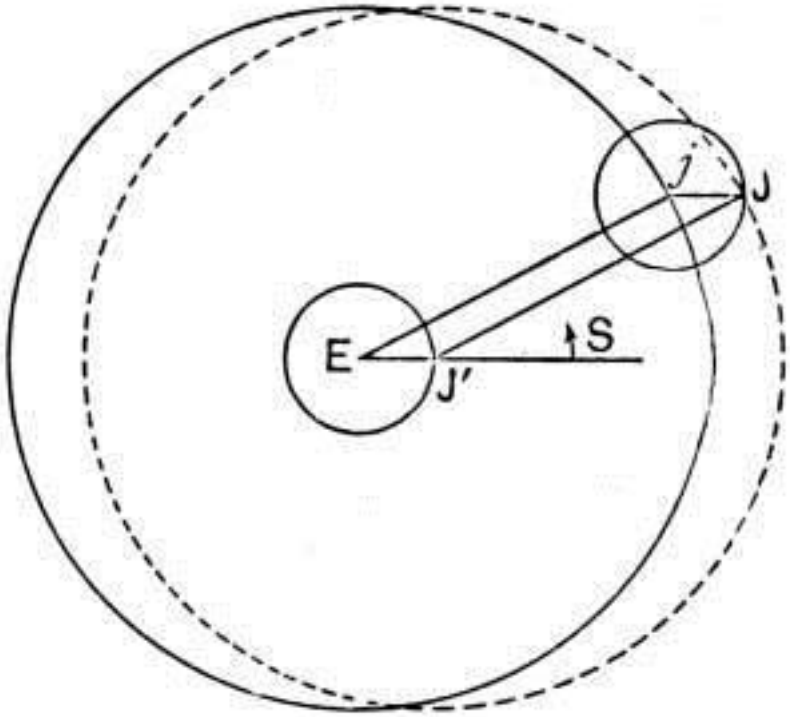


Рис. 45. Эпицикл Юпитера.

87. В случае высших планет. Марсу, Юпитеру и Сатурну было гораздо труднее признать, что их движение можно объяснить, предположив, что они вращаются вокруг Солнца, поскольку центр эпицикла не всегда находится в направлении солнца, а может находиться в любом месте эклиптики. Одна особенность, однако, в движении любой из высших планет могла легко свидетельствовать об их движении вокруг Солнца, и была либо полностью упущена из виду Птолемеем, либо не признана им важной. Вполне возможно, что это была одна из зацепок, которые привели Копперника к его системе. Эта особенность заключается в том, что радиус эпицикла планеты,*j* J, всегда параллелен линии Es, соединяющей землю и солнце, и, следовательно, совершает полный оборот за год. Эта связь между движением планеты и солнца не получила объяснения в теории Птолемея. Теперь, если мы проведем Ej' параллельно *j* J и равную ему по длине, легко увидеть, 55 что прямая J' J равна и параллельна E *j*, следовательно, J описывает окружность вокруг J' точно так же, как *j* вокруг E. Следовательно, движение планеты можно с таким же успехом представить, предположив, что она движется по эпициклу (представленному большим пунктирным кругом на рисунке), центром которого является J', а J' J - радиус, в то время как центр эпицикла, всегда оставаясь в направлении солнца описывает деферент (представленный маленьким кругом вокруг E), центром которого является земля. С помощью этого метода представления движение высшей планеты в точности похоже на движение низшей планеты, за исключением того, что ее эпицикл больше, чем у противоположной; те же рассуждения, что и ранее, показывают, что движение можно представить, просто предположив, что центром J' эпицикла на самом деле является солнце. Следовательно, эпицикл и деферент Птолемея могут быть заменены, не влияя на положение планеты на небе, на движение планеты по кругу вокруг солнца, в то время как солнце движется вокруг земли, или, проще говоря, земля вокруг солнца.

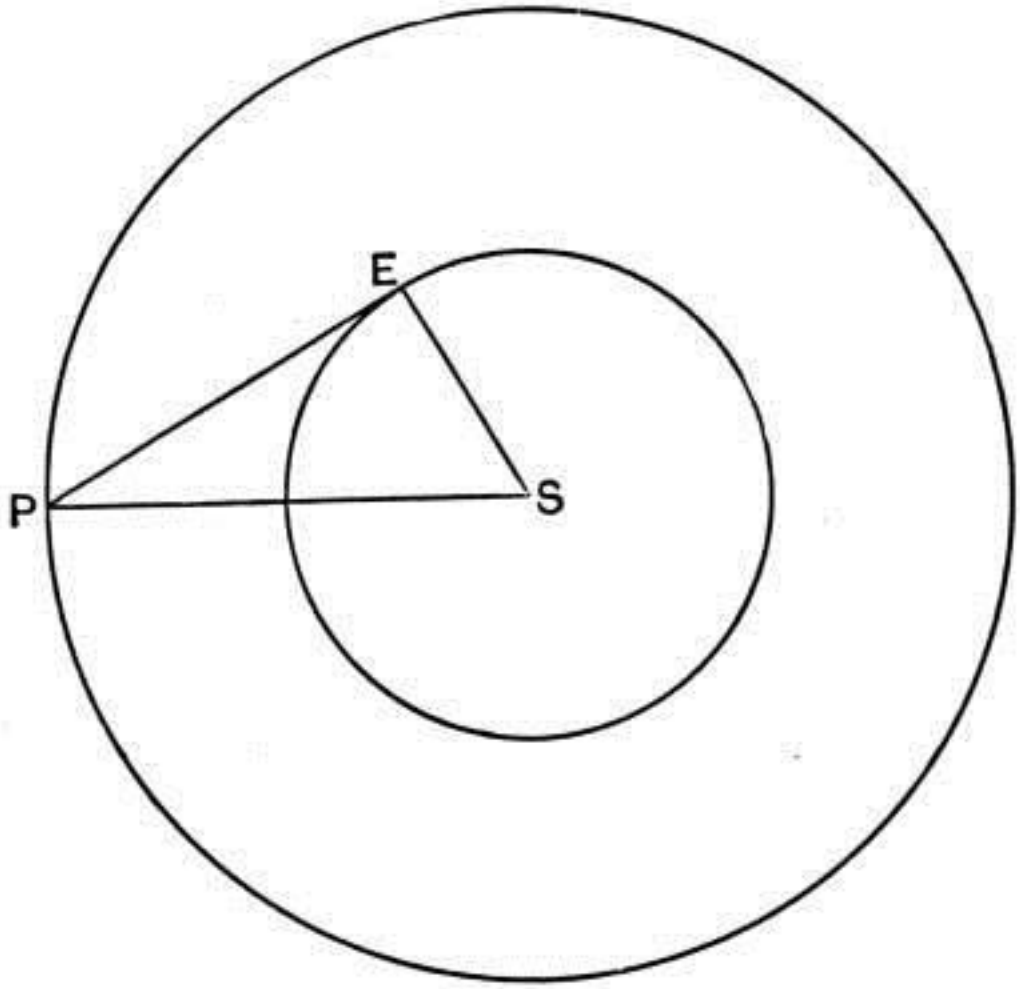


Рис. 46. Относительные размеры орбит Земли и высшей планеты.

Синодический период высшей планеты лучше всего можно было определить, наблюдая, когда планета находилась в оппозиции, *т.е.* Когда она была (почти) напротив солнца, или, более точно (поскольку планета движется не совсем по эклиптике), когда долготы планеты и солнца отличались на 180 ° (или на два прямых угла, глава II., § 43). Звездный период тогда можно было бы вычислить почти так же, как в случае с низшей планетой, с той разницей, что высшая планета движется медленнее земли и, следовательно,*теряет* один полный оборот в каждом синодическом периоде; или звездный период можно было бы найти, как и раньше, наблюдая, когда противостояния происходили почти в одной и той же части неба.56 Таким образом, Копперник получил очень точные значения для синодического и звездного периодов, *а именно* 780 дней и 687 дней соответственно для Марса, 399 дней и около 12 лет для Юпитера, 378 дней и 30 лет для Сатурна (см. рис. 40).

Вычисление расстояния высшей планеты от солнца намного сложнее, чем от Венеры или Меркурия. Если мы проигнорируем различные детали, процесс, которому следует Coppernicus, заключается в вычислении положения планеты, видимой с солнца, а затем в том, чтобы заметить, когда это положение больше всего отличается от ее положения, видимого с земли, *т.е.* когда земля и солнце находятся дальше всего друг от друга, если смотреть с планеты. Это очевидно, когда (рис. 46) линия, соединяющая планету (P) с землей (E), касается окружности,

описываемой землей, так что угол Sp E в этом случае как можно больше. Угол P E S - это прямой угол, а угол S P E - это разница между наблюдаемым положением планеты и ее вычисленным положением, видимым с солнца; таким образом, эти два угла известны, известна форма треугольника S P E, а следовательно, также соотношение его сторон. Таким образом, Копперник обнаружил, что средние расстояния Марса, Юпитера и Сатурна от солнца соответственно примерно в 1-1/ 2, 5 и 9 раз больше, чем от земли; соответствующие современные цифры таковы 1·5, 5·2, 9·5.

88. Объяснение неподвижных точек планет (глава I.,§ 14) значительно упрощается идеями Копперника. Если мы сначала возьмем низшую планету, скажем Меркурий (рис. 47), то, когда она находится между землей и Солнцем, как в точке M (или как 5 сентября на рис. 7), и земля, и Меркурий движутся в одном направлении, но сравнение размеров траекторий Меркурия и земли и их соответствующего времени совершения полных оборотов показывает, что Меркурий движется быстрее земли. Следовательно, наблюдателю в точке E кажется, что Меркурий движется слева направо (на рисунке) или с востока на запад; но это противоречит общему направлению движения планет, *т.е.* Меркурий кажется ретроградным. С другой стороны, когда Меркурий находится на наибольшем расстоянии от солнца, например, на M_1 и M_2, его собственное движение направлено непосредственно к земле или от нее, и поэтому незаметно; но земля движется вправо от наблюдателя, и поэтому кажется, что Меркурий движется влево, или с запада на восток. Следовательно, между M_1 и M его движение изменилось с прямого на ретроградное, и, следовательно, в некоторой промежуточной точке, скажем, в m_1(примерно 23 августа на рис. 7), Меркурий на данный момент кажется неподвижным, и аналогично он снова кажется неподвижным, когда в некоторой точкеm_2 между M и M_2 (примерно 13 сентября на рис. 7).

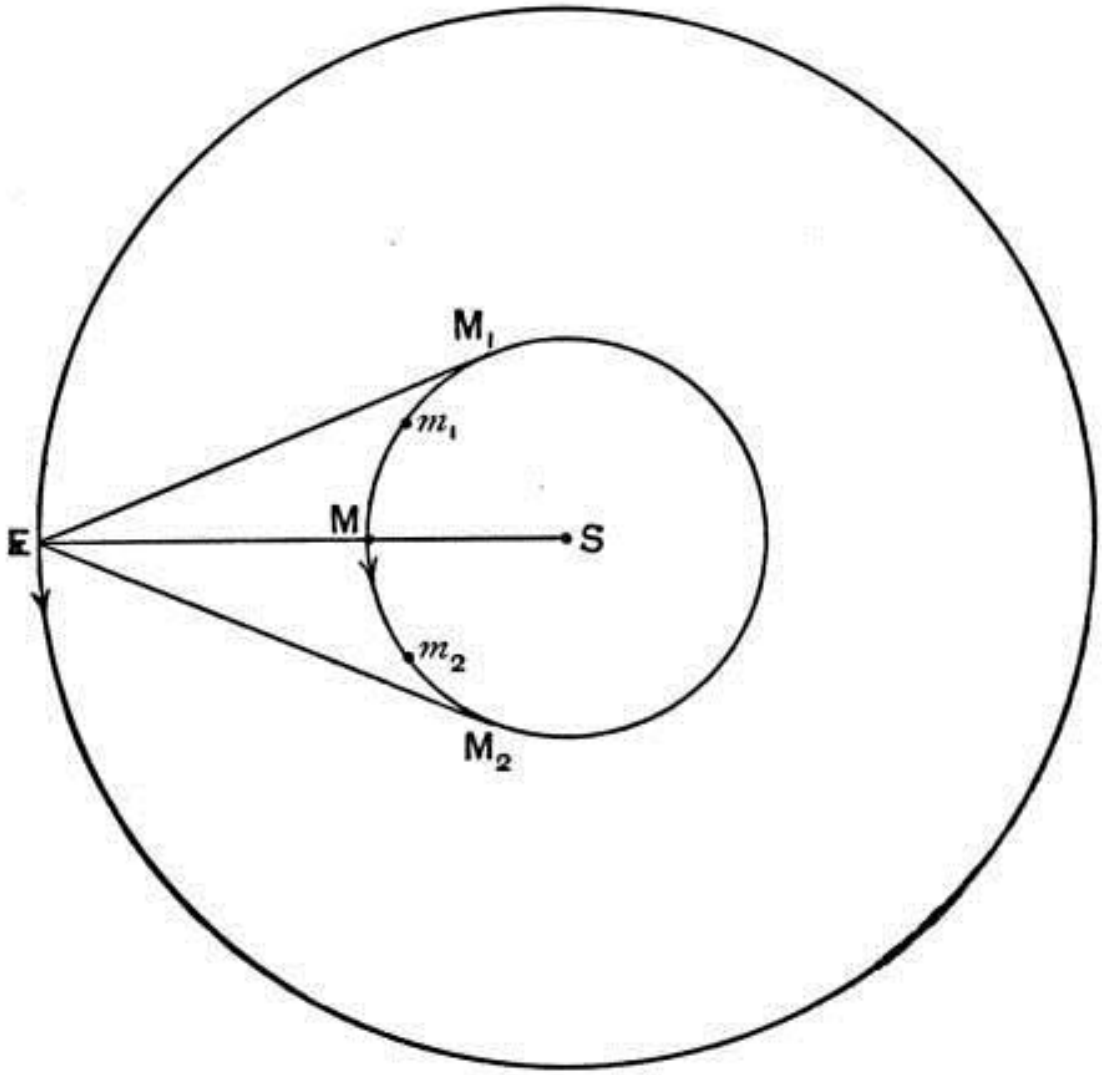


Рис. 47. Неподвижные точки Меркурия.

В случае с высшей планетой, скажем, Юпитером, аргумент почти тот же. Находясь в оппозиции в точке J (как 26 марта на рис. 6), Юпитер движется медленнее земли и в том же направлении, и поэтому кажется, что он движется в направлении, противоположном земле,*т.е.*, как видно из E (рис. 48), слева направо или с востока на запад, то есть в ретроградном направлении. Но когда Юпитер находится в любом из положений J_1 или J (в котором наблюдателю на Юпитере кажется, что земля находится на наибольшем расстоянии от солнца), движение самой земли непосредственно к Юпитеру или от Него не оказывает никакого влияния на видимое движение Юпитера (поскольку любое смещение непосредственно к наблюдателю или от него не влияет на положение объекта на небесной сфере); но сам Юпитер на самом деле движется влево, и поэтому движение Юпитера также кажется справа налево или с запада на восток. Следовательно, как и прежде, между J_1 и J, а также между J и J_2 должны быть точки j_1, j_2 (24 января и 27 мая на рис. 6), при котором Юпитер на данный момент кажется неподвижным.

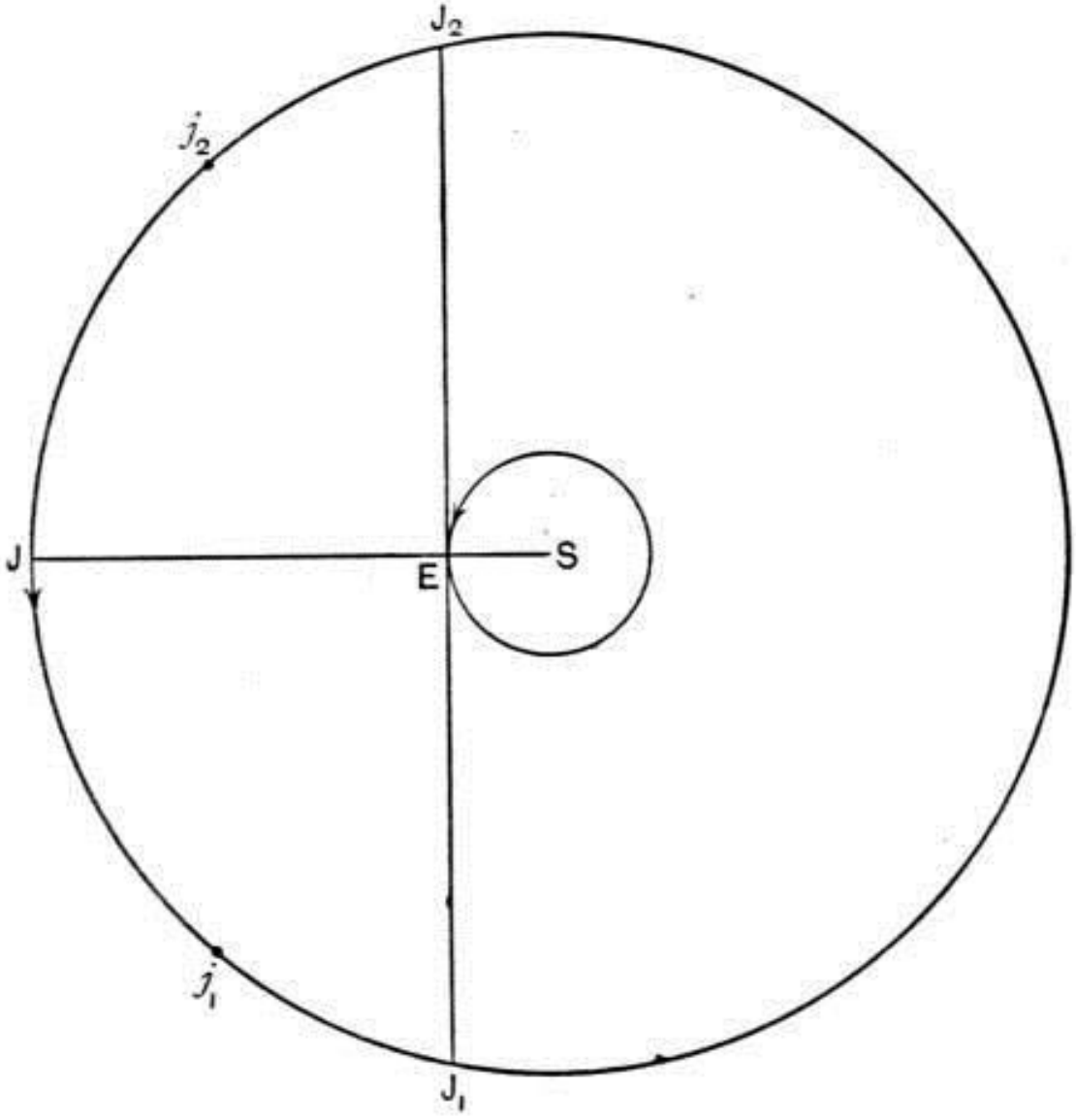


Рис. 48. Неподвижные точки Юпитера.

Фактическое обсуждение неподвижных точек, данное Коперником, намного более подробное и более техническое, чем приведенный здесь план, поскольку он не только показывает, что неподвижные точки должны существовать, но и показывает, как вычислить их точное положение.

89. До сих пор теория планет была набросана лишь очень приблизительно, чтобы подчеркнуть существенные различия между объяснениями их движения по Копернику и Птолемею, и не принимались во внимание незначительные отклонения, для которых Птолемей разработал свою систему равенств, эксцентриситетов и т.д., Ни движение по широте,*т.е.* к эклиптике и от нее. Коперник, как уже упоминалось, отверг эквант, как порождающий неправильность, “недостойную” небесных тел, и построил для каждой планеты довольно сложную систему эпициклов. Для движения по широте, обсуждаемого в книге VI. он предположил, что орбита каждой планеты вокруг солнца наклонена к эклиптике под небольшим углом, разным для каждой планеты, но счел необходимым, для того чтобы его теория согласовалась с

наблюдениями, ввести совершенно воображаемое усложнение регулярного увеличения и уменьшения наклона орбит планет к эклиптике.

Фактические детали используемых эпициклов сейчас не представляют большого интереса, но, возможно, стоит заметить, что для движения Луны, земли и пяти других планет Копернику потребовалось всего 34 круга,*а именно*. четыре для Луны, три для земли, семь для Меркурия (движение которого особенно неравномерно) и по пять для каждой из других планет; это число намного меньше, чем требуется в большинстве версий системы Птолемея: например, для Фракастора (глава III., § 69), написанного в 1538 году, требовалось 79 сфер, из которых шесть были необходимы для неподвижных звезд.

90. Планетарная теория Копперника неизбежно страдала одним из существенных недостатков системы эпициклов. На самом деле, всегда возможно выбрать систему эпициклов таким образом, чтобы*либо* направление любого тела*, либо* его расстояние изменялись любым требуемым образом, но не удовлетворяли обоим требованиям сразу. Следовательно, в случае движения Луны вокруг земли или земли вокруг солнца, в случаях, когда изменения расстояния не могут быть легко замечены, можно ожидать, что эпициклы дадут удовлетворительный результат, во всяком случае, до тех пор, пока методы наблюдений не будут достаточно усовершенствованы, чтобы с некоторой точностью измерять видимые размеры солнца и Луны и таким образом проверять изменения в их расстояниях. Но любое изменение расстояния земли от солнца повлияет не только на расстояние, но и на направление, в котором будет видна планета; на рисунке, например, когда планета находится в точке P, а солнце - в точке S, видимое положение планеты, если смотреть с земли, будет отличаться в зависимости от того, находится ли земля в точке E или E'. Следовательно, эпициклы и эксцентриситеты Копперника, которые приходилось корректировать таким образом, чтобы они обязательно включали неправильные значения расстояний между солнцем и землей, приводили к соответствующим ошибкам в наблюдаемых положениях планет. Наблюдения, которые использовал Копперникус, вряд ли были достаточно обширными или точными, чтобы ясно показать это несоответствие; но, таким образом, фактически был предложен критический тест, с помощью которого при дальнейших наблюдениях планет можно было принять решение между эпициклическим представлением движения планет и какой-либо другой геометрической схемой.

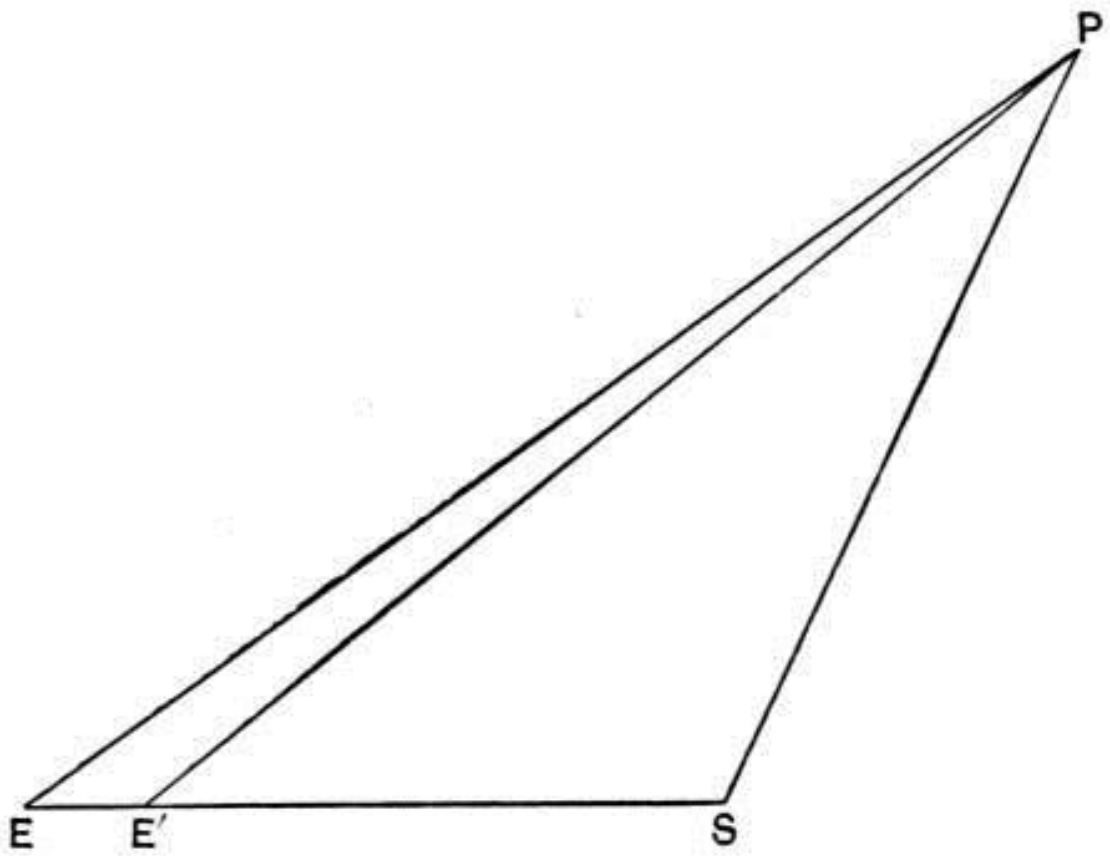


Рис. 49. Изменение видимого положения планеты из—за изменения расстояния Земли от Солнца.

91. Заслуги Копперника столь велики, а роль, которую он сыграл в ниспровержении системы Птолемеев, столь заметна, что мы иногда склонны забывать, что он не только не отвергал эпициклы и эксцентрики греков, но и не использовал никаких других геометрических приемов и был даже более ортодоксальным “эпициклистом”, чем сам Птолемей, поскольку отвергал равенства последнего.57 Знаменитое описание Мильтона (*Пар. Утрачено*, VIII. 82-5) из

“Сфера

С Центрическими и Эксцентричными каракулями,

Цикл и Эпицикл, Сфера в Сфере,”

следовательно, это в равной степени относится и к астрономии Копперника, и к астрономии его предшественников; и именно Кеплеру (глава VII), писавшему более полувека спустя, а не Копперникy, принадлежит отказ от эпицикла и эксцентриситета.

92. Здесь заслуживает особого упоминания один момент, который имел важное значение в более поздних спорах. Основой системы Копперника было то, что движение земли, увлекающее наблюдателя за собой, вызывало видимое движение других тел. Таким образом, было показано, что видимые движения солнца и планет в значительной степени объясняются как результат движения земли вокруг Солнца. Подобные рассуждения, по-видимому, должны привести к выводу, что неподвижные звезды также, по-видимому, движутся ежегодно. Фактически произошло бы смещение видимого положения звезды из-за изменения положения Земли на ее

орбите, что оченьнапоминает изменение видимого положения Луны из-за изменения положения наблюдателя на земле, которое долгое время изучалось под названием параллакса (глава II.,§ 43). Поскольку такое смещение никогда не наблюдалось, Копперник объяснил очевидное противоречие предположением, что неподвижные звезды находятся так далеко, что любое движение, вызванное этой причиной, слишком мало, чтобы его можно было заметить. Если, например, земля переместится за шесть месяцев с E на E', изменение направления звезды в точке S' равно углу E' S' E, который меньше, чем у более близкой звезды в точке S; и, предположив, что звезда S' достаточно удалена, угол E' S' E можно сделать настолько малым, насколько потребуется. Например, если бы расстояние до звезды было в 300 раз больше расстояния Ee', *т.е.* В 600 раз дальше от земли, чем находится солнце, угол Es' E' был бы меньше 12', величина, которую приборы того времени были едва способны обнаружить.58 Но можно ожидать, что более точные наблюдения неподвижных звезд прольют дополнительный свет на эту проблему.

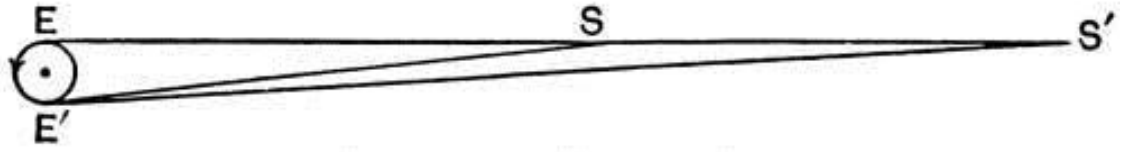


Рис. 50.Звездный параллакс.

ГЛАВА V.
ВОСПРИЯТИЕ ТЕОРИИ КОППЕРНИКА И ПРОГРЕСС НАБЛЮДЕНИЙ.

“Нелепые остряки , которые не могут спокойно грести

По гладкому руслу наших общих морей;

И таковы они, по крайней мере, в моем представлении,

Эти клерки, которые думают ... думают, какая абсурдная шутка!

Что ни небеса, ни звезды вообще не вращаются

Ни танцевать на этом огромном круглом Земном Шаре,

Но сама Земля, этот наш массивный шар,

Поворачивается примерно раз в два двенадцать часов!”

Дю Бартас (перевод Сильвестра).

93. Публикация *De Revolutionibus*, по-видимому, была воспринята гораздо спокойнее, чем можно было ожидать, исходя из поразительного характера ее содержания. На самом деле книга

была написана так, что была непонятна разве что математикам, обладающим значительными знаниями и способностями, и вообще не могла быть прочитана. Более того, предисловие, вставленное Осиандером, но обычно предполагаемое самим автором, должно было во многом обезоружить враждебную критику, вызванную предрассудками и обычаями, представляя фундаментальные принципы Коперника просто как геометрические абстракции, удобные для расчета небесных движений. Хотя, как мы видели (глава IV,§ 73), противоречие между мнениями Коперника и общепринятым толкованием различных отрывков Библии было быстро замечено Лютером, Меланхтоном и другими, ни папа, которому была посвящена книга, ни его непосредственные преемники не выдвинули никаких возражений.

Уже упоминалось об энтузиазме Ретика в защиту взглядов Коперника. Единственным другим известным астрономом, который сразу же принял новые взгляды, был его друг и коллега *Эразмус Рейнхольд* (родился в Заальфельде в 1511 году), который занимал главную кафедру математики и астрономии в Виттенберге с 1536 по 1553 год, и таким образом, как ни странно, доктрины, столь решительно осуждаемые двумя великими протестантскими лидерами, были поддержаны главным образом в том, что обычно считалось центром протестантской мысли.

94. Ретикус после публикации "*Повествования примы"* и Эфемерид, или Альманаха, основанного на принципах Коперника (1550), занялся главным образом вычислением очень обширного набора математических таблиц, закончить которые ему удалось только незадолго до своей смерти в 1576 году.

Рейнгольд оказал астрономии чрезвычайно важную услугу, вычислив на основе*De Revolutionibus* таблицы движений небесных тел, которые были опубликованы в 1551 году на средства герцога Альберта Прусского и поэтому получили название *Tabulæ Prutenicæ*, или *Прусские таблицы*. Рейнхольд пересмотрел большую часть вычислений, сделанных Коперником, чья арифметическая работа иногда допускала ошибки; но главной целью таблиц было детальное развитие работы в "*De Revolutionibus"*, в такой форме, чтобы можно было легко установить расположение главных небесных тел в любое требуемое время. Автор утверждал в своих таблицах, что по ним можно вычислить расположение всех небесных тел за последние 3000 лет и что они согласуются со всеми наблюдениями, зарегистрированными за этот период. Таблицы действительно оказались в целом явно превосходящими свои предшественницы,*Таблицы Альфонсина* (глава III., § 66), и постепенно завоевывали все большую популярность, пока три четверти века спустя их не вытеснили*Таблицы Рудольфина* Кеплера (глава VII., § 148). Это превосходство новых таблиц было лишь косвенно связано с различием в принципах, на которых были основаны два набора таблиц, и в значительной степени объяснялось тем фактом, что Рейнхольд был намного лучшим компьютером, чем помощники Альфонсо, и что Копперникус, если и не был лучшим математиком, чем Птолемей, то, во всяком случае, владел лучшими математическими инструментами. Тем не менее, таблицы, естественно, имели большой вес, побудив астрономический мир постепенно признать достоинства системы Коперника, во всяком случае, в качестве основы для расчета местоположения небесных тел.

К сожалению, Рейнхольда унесла чума в 1553 году, и вместе с ним исчез комментарий к *De Revolutionibus*, который он подготовил, но не опубликовал.

95. Очень скоро после этого мы обнаруживаем первые признаки распространения системы Коперника в Англии. В 1556 году *Джон Филд* опубликовал альманах на следующий год, явно

основанный на Коппернике и Рейнхольде, а отрывок из "*Точильного камня Витте"* (1557) *Роберта Рекорда* (1510-1558), нашего первого автора по алгебре, показывает, что автор благосклонно относился к доктринам Копперника, даже если он не верил в них полностью. Несколькими годами позже*Томас Диггес* (? -1595) в своем *труде по математике* (1573), астрономическом трактате, не имеющем большого значения, тепло похвалил Копперника и его идеи.

96. В течение почти полувека после смерти Рейнхольда не было внесено никакого важного вклада в спор о Коппернике. Таблицы Рейнхольда, несомненно, медленно выполняли свою работу по ознакомлению умов людей с новыми идеями, но необходимо было внести определенные дополнения в знания, прежде чем доказательства в их пользу можно было считать действительно убедительными.

Серьезные механические трудности, связанные с предположением о быстром движении земли, совершенно незаметном для ее обитателей, могли быть преодолены только дальнейшим прогрессом в механике, и особенно в знании законов, по которым возникает, поддерживается, изменяется или уничтожается движение тел; в этом направлении не было достигнуто существенного прогресса до времен Галилея, работы которого относятся главным образом к началу 17 века (ср. глава VI.,§§ 116, 130, 133).

На возражение против схемы Копперника о том, что звезды не демонстрируют таких видимых годовых движений, которые должно вызывать движение Земли (глава IV,§ 92), также можно либо ответить, либо усилить, в зависимости от того, выявили или не выявили улучшенные методы наблюдения требуемое движение.

Более того, *Таблицы*Пруссии, хотя и были более точными,*чем*Альфонсины, едва ли претендовали на мельчайшую точность и уж точно не обладали ею. Копперник однажды сказал Ретику, что был бы чрезвычайно доволен, если бы смог привести свою теорию в соответствие с наблюдениями с точностью до 10'; но на самом деле время от времени замечались расхождения гораздо более серьезного характера. Сравнительно небольшое количество доступных наблюдений и их грубость чрезвычайно затрудняли либо поиск наиболее удовлетворительных числовых данных, необходимых для детальной разработки какой-либо теории, либо надлежащую проверку теории путем сравнения рассчитанных положений небесных тел с наблюдаемыми. Соответственно, многим астрономам стало очевидно, что одной из наиболее насущных потребностей науки является проведение наблюдений в как можно большем масштабе и с максимально достижимой точностью. Чтобы удовлетворить эту потребность, во второй половине 16 века были созданы две школы наблюдательной астрономии с весьма неодинаковым уровнем мастерства, которые предоставили массу материала для использования астрономами следующего поколения. К счастью, тот же период был отмечен быстрым прогрессом в алгебре и смежных областях математики. Из трех великих изобретений, которые так сильно сократили труд числовых вычислений, одно, так называемая арабская система счисления (глава III,§ 64), уже было знакомо, два других (десятичные дроби и логарифмы) были предложены в 16 веке и были в рабочем состоянии в начале 17 века.

97. Первые важные наблюдения, сделанные после смерти Региомонтана и Вальтера (глава III, § 68), были сделаны благодаря энергии ландграфа *Вильгельма IV.* из Гессена (1532-1592). В детстве он был примечателен своей любовью к учебе, и, как сообщается, его интерес к астрономии возник или стимулировался, когда ему было немногим более 20 лет, копией

прекрасной книги Апиана "*Astronomicum Caesareum*", картонных моделей, в которых он заставил подражать и развивать металлообработку. Он серьезно взялся за эту тему и в 1561 году приказал построить в Касселе обсерваторию, которая была примечательна тем, что была первой, имевшей вращающуюся крышу - устройство, ныне почти универсальное. При этом он провел обширные наблюдения (главным образом за неподвижными звездами) в течение следующих шести лет. Затем смерть его отца вынудила его посвятить большую часть своей энергии государственным обязанностям, и его астрономический пыл поутих. Однако несколько лет спустя (1575), в результате короткого визита талантливого и увлеченного молодого датского астронома Тихо Браге (§ 99), он возобновил свою астрономическую работу и вскоре после этого заручился услугами двух чрезвычайно способных помощников, *Кристиана Ротмана* (в 1577 году) и *Йоста Бюрги* (в 1579 году). Ротманн, о жизни которого известно крайне мало, по-видимому, был математиком и астрономом-теоретиком значительных способностей и был автором нескольких усовершенствований в методах решения различных астрономических проблем. Сначала он был копперниканцем, но продемонстрировал свою независимость, обратив внимание на ненужное усложнение, внесенное Копперником при разложении движения земли на *три* движения, когда двух было достаточно (глава IV., § 79). Однако впоследствии его вера в систему была поколеблена ошибками, обнаруженными в*прусских таблицах*. Бюрги (1552-1632) первоначально был нанят ландграфом в качестве часовщика, но его замечательные механические таланты вскоре были обращены к астрономическим расчетам, и тогда оказалось, что он также обладает необычными способностями математика.59

98. Главной работой Кассельской обсерватории было составление звездного каталога. Положения звезд сравнивались с положением солнца, Венера или Юпитер использовались в качестве связующих звеньев, и выводилось их положение относительно экватора и первой точки Овна (♈; регулярно делались поправки на ошибки, вызванные преломлением света атмосферой, а также на параллакс солнца, но наиболее заметным нововведением стало использование часов для записи времени наблюдений и измерения движения небесной сферы. Создание часов достаточной точности для этой цели стало возможным благодаря механическому гению Бюрги и, в частности, его открытию, что часы можно регулировать с помощью маятника, открытию, которое он,по-видимому, не предпринял никаких шагов для публикации, и которое, как следствие, пришлось повторить независимо, прежде чем оно получило всеобщее признание.60 К 1586 году было проведено тщательное наблюдение за 121 звездой, но более обширный каталог, который должен был содержать более тысячи звезд, так и не был завершен из-за неожиданного исчезновения Ротманна в 1590 году61 и смерти ландграфа два года спустя.

99. Однако работа Кассельской обсерватории была омрачена работой, проведенной почти в то же время*Тихо* (*Тайге*) *Браге*. Он родился в 1546 году в Кнудструпе в датской провинции Скания (ныне южная оконечность Швеции), будучи старшим ребенком дворянина, который впоследствии был губернатором замка Хельсингборг. Дядя усыновил его в младенчестве и воспитывал в своем загородном поместье. В 13 лет он поступил в Копенгагенский университет, где начал изучать риторику и философию с целью сделать политическую карьеру. Однако его очень заинтересовало небольшое солнечное затмение, которое он наблюдал в 1560 году, и этот стимул, добавленный к некоторому вкусу к астрологическому искусству составления гороскопов, побудил его посвятить большую часть оставшихся двух лет, проведенных в Копенгагене, математике и астрономии. В 1562 году он поступил в Лейпцигский университет в сопровождении, согласно обычаю того времени, наставника, который, по-видимому,

предпринимал настойчивые, но безуспешные попытки побудить своего ученика посвятить себя юриспруденции. Тихо, однако, теперь, как всегда, было трудно отвлечь от своей цели, и он упорно продолжал заниматься астрономией. В 1563 году он сделал свое первое зарегистрированное наблюдение близкого сближения Юпитера и Сатурна, время которого, как он заметил, было неверно предсказано *альфонсинскими таблицами* (глава III., § 66), в то время как в *прусских таблицах* (§ 94) была ошибка в несколько дней. Находясь в Лейпциге, он купил также несколько грубых инструментов и предвосхитил одно из значительных усовершенствований, которые впоследствии систематически проводились, пытаясь оценить погрешности своих инструментов и учесть их.

В 1565 году Тихо вернулся в Копенгаген, вероятно, из-за только что начавшейся войны со Швецией, и пробыл там около года, в течение которого потерял своего дядю. Затем он снова отправился в свое путешествие (1566) и посетил Виттенберг, Росток, Базель, Ингольштадт, Аугсбург и другие учебные центры, познакомившись таким образом с несколькими наиболее известными астрономами Германии. В Аугсбурге он познакомился с братьями Хайнцель, богатыми горожанами, склонными к науке, для одного из которых он спроектировал и построил огромный**квадрант** (четверть круга) радиусом около 19 футов, край которого был отмерен до одной минуты; и он также начал здесь сооружение своего большого небесного глобуса диаметром пять футов, на котором он отмечал одно за другим положения звезд, как он их впоследствии наблюдал.

В 1570 году Тихо вернулся к своему отцу в Хельсингборг и вскоре после смерти последнего (1571) отправился с длительным визитом к Стину Билле, дяде с научными пристрастиями. Во время этого визита он, по-видимому, посвятил большую часть своего времени химии (или, возможно, скорее, алхимии), и его астрономические исследования на некоторое время приостановились.

100. К счастью, его интерес к астрономии был возрожден внезапным появлением в ноябре 1572 года новой яркой звезды в созвездии Кассиопеи. Об этом Тихо провел ряд чрезвычайно тщательных наблюдений; он отметил постепенные изменения в его яркости с момента первого появления, когда он соперничал с Венерой по яркости, вплоть до окончательного исчезновения 16 месяцев спустя. Он неоднократно измерял ее угловое расстояние от главных звезд Кассиопеи и применял различные методы, чтобы установить, имеет ли она какой-либо заметный параллакс (глава II.,§§ 43, 49). Параллакс не мог быть определенно обнаружен, и он соответственно сделал вывод, что звезда определенно должна находиться дальше, чем Луна; поскольку, кроме того, она не участвовала в движении планет, он сделал вывод, что она должна принадлежать к области неподвижных звезд. Нам, сегодняшним, этот результат может показаться довольно банальным, но большинство астрономов того времени настолько твердо придерживались доктрины Аристотеля о том, что небеса в целом и область неподвижных звезд в частности были нетленными испособными меняться, что новые звезды, подобно кометам, почти повсеместно приписывались более высоким областям нашей собственной атмосферы. Тихо написал отчет о "новой звезде", который в конечном итоге был опубликован его друзьями (1573) вместе с некоторыми фрагментами календаря на тот год, который он подготовил. Его нежелание публиковаться, по-видимому, было во многом вызвано убеждением, что писать книги недостойно достоинства датского дворянина! Книга , о которой идет речь (*De Nova … Стелла*) очень выгодно отличается от многочисленных других работ, опубликованных в "Стар", хотя и показывает, что Тихо придерживался общепринятых представлений о том, что кометы

находятся в нашей атмосфере и что планеты вращаются в виде твердых кристаллических сфер, - двух заблуждений, которые его последующая работа во многом разрушила. Он также довольно подробно остановился на астрологическом значении звезды и великих событиях, которые она предвещала, высказываниях, по поводу которых Кеплер впоследствии высказал весьма разумную критику, что “если эта звезда больше ничего не сделала, то, по крайней мере, она возвестила и произвела на свет великого астронома”.

В 1574 году Тихо попросили прочитать несколько астрономических лекций в Копенгагенском университете, первая из которых, посвященная в основном астрологии, была напечатана в 1610 году, после его смерти. Когда они были закончены, он снова отправился в свое путешествие (1575). После короткого визита в Кассель (§ 97), во время которого он заложил фундамент дружбы с ландграфом на всю жизнь, он отправился во Франкфурт за книгами, оттуда в Базель (где у него были серьезные мысли обосноваться) и далее в Венецию, затем обратно в Аугсбург и Регенсбург, где он приобрел экземпляр*Commentariolus* Копперника (глава IV., § 73), и, наконец, вернулся домой через Заальфельд и Виттенберг.

101. Следующий год (1576) стал началом новой эпохи в карьере Тихо. Король Дании Фредерик II, который был ревностным покровителем науки и литературы, решил предоставить Тихо средства, достаточные для того, чтобы он мог выполнять свою астрономическую работу наиболее эффективным способом. Соответственно, он предоставил ему для заселения маленький остров Хвин в проливе (ныне принадлежащий Швеции), пообещал деньги на строительство дома и обсерватории и дополнил доход, получаемый от арендной платы за остров, ежегодной выплатой около 100 фунтов стерлингов. Тихо нанес свой первый визит на остров в мае, вскоре приступил к строительным работам и уже до конца года начал проводить регулярные наблюдения в своем новом доме.

Рис. 51.—Ураниборг. Из сборника писем, опубликованного Тихо.

Здания были столь же замечательны своим великолепием, как и своей научной пользой. Тихо никогда не забывал, что он был датским дворянином, а также астрономом, и строил в манере, соответствующей его рангу.62 Его главное здание (рис. 51), называемое Ураниборг (Небесный замок), находилось в середине большой квадратной ограды, разбитой как сад, углы которого указывали на север, восток, Юг и Запад, и содержало несколько обсерваторий, библиотеку и лабораторию, в дополнение к жилым комнатам. Впоследствии, когда число приходивших к нему учеников и помощников увеличилось, он возвел (1584) второе здание, Стернеборг (Звездный замок), которое было примечательно наличием подземных обсерваторий. Удобство возможности выполнять всю необходимую работу в своем собственном помещении побудило его, кроме того, основать мастерские, где изготавливались почти все его инструменты, а впоследствии также печатный станок и бумажную фабрику. Как в Ураниборге, так и в Стернеборге не только помещения, но даже инструменты, которые создавались постепенно, были искусно расписаны или иным образом украшены.

102. Расходы на заведение, должно быть, были огромными, особенно учитывая, что Тихо жил в великолепном стиле и, вероятно, мало внимания уделял экономии. Его доход поступал из различных источников и время от времени колебался, поскольку король не просто выплачивал ему фиксированную ежегодную выплату, но добавлял также временные пожалования земель или денег. Среди других благодеяний он получил в 1579 году одну из каноникий кафедрального собора Роскилле, пожертвования которого были практически секуляризованы во время Реформации. К сожалению, большая часть его имущества находилась на правах аренды, что влекло за собой соответствующие обязательства, и поскольку он сочетал раздражительность гения с надменностью средневекового дворянина, результатом были постоянные ссоры. Очень скоро после его прибытия в Хвин его арендаторы пожаловались на работу, которую он незаконно принуждал их выполнять; богослужениями в часовне, которые требовало от него канонизм, пренебрегали, и он полностью отказался производить определенные признанные выплаты вдове предыдущего каноника. Дальнейшие трудности возникли из-за маяка, обслуживание которого входило в обязанности одного из его поместий, но регулярно оставалось без внимания. Ничто так не свидетельствует о добрых чувствах короля к Тихо, как те хлопоты, которые он предпринимал, чтобы уладить эти ссоры, часто заканчивающиеся выплатой спорной денежной суммы. Кроме того, Тихо чрезвычайно ревниво относился к своей научной репутации и не раз разражался жестокими оскорблениями в адрес какого-нибудь ассистента или посетителя, которого обвинял в краже своих идей и публикации их в другом месте.

В дополнение к времени, проведенному таким образом в ссорах, много времени, должно быть, было занято развлечением многочисленных посетителей, которых привлекла его слава и среди которых, помимо астрономов, были высокопоставленные лица, такие как несколько членов датской королевской семьи и Яков VI Шотландский (впоследствии Яков I английский).

Несмотря на эти отвлекающие факторы, астрономическая работа неуклонно продвигалась вперед, и за 21 год, который Тихо провел в Хвине, он с помощью учеников и ассистентов собрал великолепную серию наблюдений, намного превосходящую по точности и масштабу все, что

было достигнуто его предшественниками. Большое внимание уделялось также алхимии и немного медицине. На него, по-видимому, произвела большое впечатление идея единства Природы, и он постоянно искал аналогии или действительную связь между различными предметами, которые он изучал.

103. В 1577 году появилась блестящая комета, которую Тихо наблюдал со своей обычной тщательностью; и, хотя в то время у него не было полного набора инструментов, его наблюдения были достаточно точными, чтобы убедить его в том, что комета находится по меньшей мере в три раза дальше Луны, и, таким образом, опровергнуть распространенное мнение, которого он сам придерживался несколькими годами ранее (§ 100), что кометы возникли в нашей атмосфере. Его наблюдения привели его также к убеждению, что комета вращается вокруг солнца на расстоянии от него большем, чем расстояние от Венеры, - вывод, который серьезно противоречил общепринятому учению о твердых кристаллических сферах. У него была дополнительная возможность наблюдать кометы в 1580, 1582, 1585, 1590 и 1596 годах, а один из его учеников также наблюдал за кометой, замеченной в 1593 году. Ни одна из этих комет не привлекла такого общего внимания, как комета 1577 года, но наблюдения Тихо, что было естественно, постепенно улучшались в точности.

104. Ценные результаты, полученные с помощью "Новой звезды" 1572 года и комет, подсказали целесообразность написания полного трактата по астрономии, включающего эти и другие открытия. Согласно первоначальному плану, должно было выйти три предварительных тома, посвященных соответственно новой звезде, комете 1577 года и более поздним кометам, в то время как основной трактат должен был состоять еще из нескольких томов, посвященных теориям солнца, луны и планет. Из этого великолепного плана сравнительно немногое было когда-либо выполнено. Первый том, названный*Astronomiae Instauratae Progymnasmata*, или Введение в новую астрономию, был едва начат до 1588 года и, хотя в основном был напечатан к 1592 году, так и не был полностью закончен при жизни Тихо и фактически был опубликован Кеплером в 1602 году. Фактически, один вопрос привел к другому таким образом, что Тихо почувствовал себя неспособным дать удовлетворительный отчет о звезде 1572 года, не затронув ряд предварительных тем, таких как положения неподвижных звезд, прецессия и годовое движение солнца, каждая из которых требовала тщательного исследования. Второй том, посвященный комете 1577 года, под названием*De Mundi aetherei recentioribus Phaenomenis Liber secundus* (Вторая книга о недавних появлениях в Небесном мире), был закончен задолго до первого, и копии были разосланы друзьям и корреспондентам в 1588 году, хотя регулярно он не публиковался и не поступал в продажу до 1603 года. Третий том так и не был написан, хотя для него был собран некоторый материал, а к основному трактату, по-видимому, никто не прикасался.

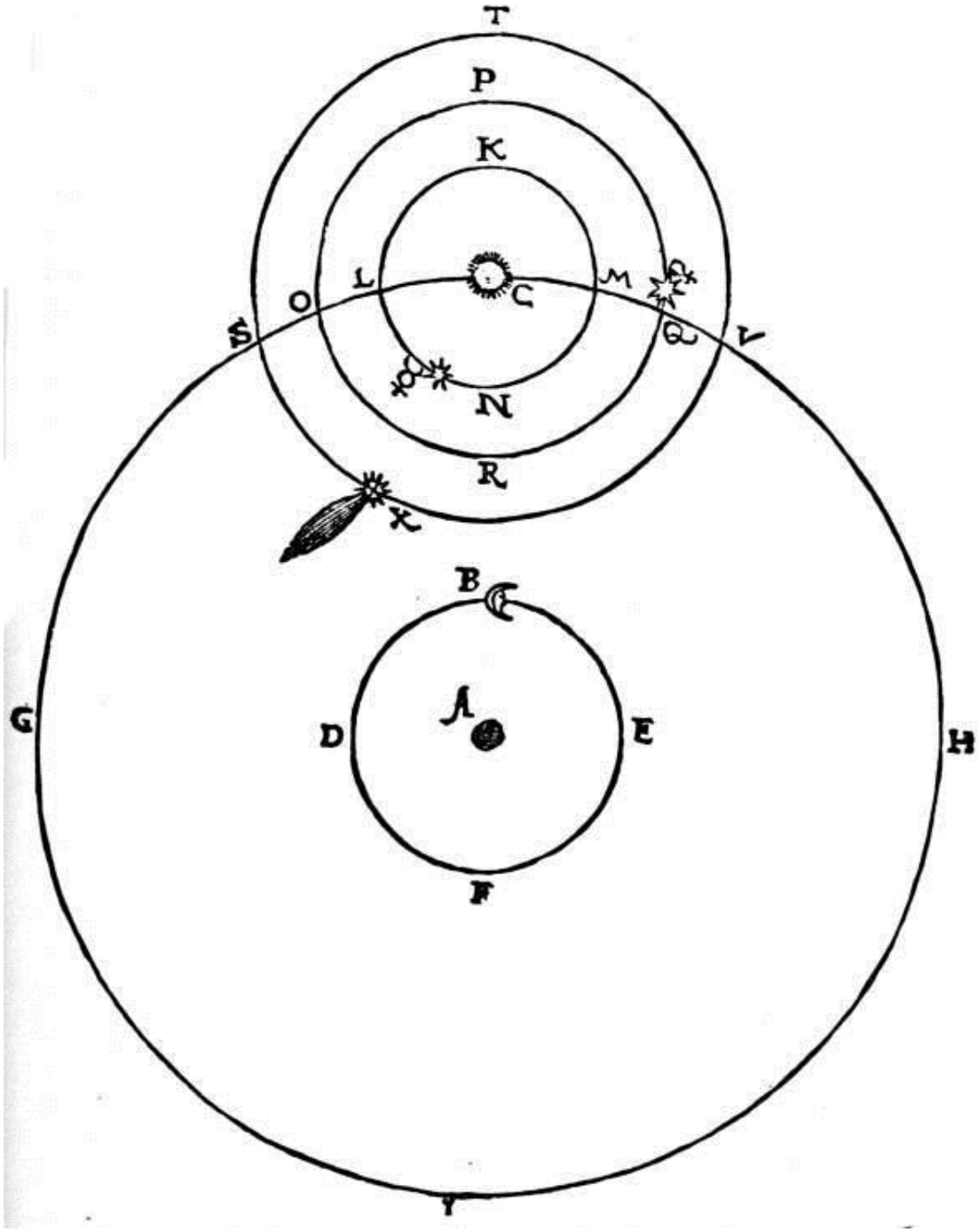


Рис. 52. —Система мира Тихо. Из его книги о комете 1577 года.

105. Книга о комете 1577 года представляет особый интерес, поскольку содержит описание системы мира Тихо, которая была компромиссом между системами Птолемея и Копперника. Тихо был слишком хорошим астрономом, чтобы не понимать многих упрощений, которые вводиласистема Копперника, но не смог ответить на два серьезных возражения; он рассматривал любое движение “медленной и тяжелой земли” как противоречащее “физическим принципам”, и он возражал против большого расстояния звезд, которого требовала система Копперника, потому что между ними и планетами оставалось бы огромное пустое пространство, пространство, которое он считал расточительным.63 Библейские

трудности64 также имели для него некоторый вес. Соответственно, он разработал (1583) новую систему, согласно которой пять планет вращались вокруг солнца (С, на рис. 52), в то время как солнце ежегодно совершало оборот вокруг земли (А), и вся небесная сфера совершала также ежедневный оборот вокруг земли. Система никогда не была детально проработана и, как многие компромиссы, не встретила большой поддержки; Тихо, тем не менее, чрезвычайно гордился ею, и одна из самых ожесточенных и продолжительных ссор в его жизни (длившаяся двенадцать лет) произошла с*Реймерсом Бэром* или *Урсусом* (? -1600), который в 1586 году передал ландграфу и два года спустя опубликовал систему мира, очень похожую на систему Тихо. Реймерс пробыл в Хвине короткое время в 1584 году, и Тихо без колебаний обвинил его в том, что он украл идею из какой-то рукописи, увиденной там. Реймерс, естественно, в ответ выдвинул против Тихо встречное обвинение в краже. Однако нет веских причин, по которым эта идея не должна была прийти в голову каждому астроному независимо; и Реймерс в некоторых отношениях значительно улучшил схему Тихо, приняв суточное вращение Земли и, таким образом, отказавшись от суточного вращения небесной сферы, которое, безусловно, было одной из самых слабых частей схемы Птолемея.

ТИХО БРАГЕ.

[*Лицом к лицу, стр. 139.*

106. Тот же самый год (1588), когда была опубликована книга Тихо о комете, также ознаменовался смертью его покровителя, Фридриха II. Новым королем Кристианом был 11-летний мальчик, и в течение нескольких лет страной управляли четыре ведущих государственных деятеля. Новое правительство, похоже, поначалу относилось к Тихо довольно дружелюбно; ему была выплачена крупная сумма на покрытие расходов, понесенных в Хвине, и были обещаны дополнительные пожертвования, но со временем обычные ссоры Тихо со своими

арендаторами и другими людьми начали давать о себе знать. В 1594 году он потерял одного из своих главных сторонников при дворе, канцлера Кааса, и его преемник, а также два или три других важных чиновника при дворе были не очень дружелюбны, хотя истории, которые обычно рассказывают о сильной личной вражде, по-видимому, не имеют под собой оснований. Еще в 1591 году Тихо намекнул корреспонденту, что, возможно, не останется надолго в Дании, и в 1594 году он начал переписку с представителями императора Рудольфа II, который был покровителем науки. Но его научная деятельность в эти годы была столь же велика, как и прежде; и в 1596 году он завершил печатание чрезвычайно интересного тома научной переписки между ландграфом Ротманом и им самим. За приходом молодого короля к власти в 1596 году сразу же последовал отзыв одного из поместий Тихо, а в следующем году ежегодные выплаты, производившиеся с 1576 года, были прекращены. Трудно винить короля за такую экономию; он, очевидно, не так сильно интересовался астрономией, как его отец, и, следовательно, считал большие расходы в Хвине излишеством, и также вероятно, что он был серьезно раздосадован жестоким обращением Тихо со своими арендаторами и другими проявлениями непослушания с его стороны. Тихо, однако, расценил лишение его ежегодной пенсии как последнюю каплю и покинул Хвин в начале 1597 года, забрав с собой свое более портативное имущество. После нескольких месяцев, проведенных в Копенгагене, он предпринял решительный шаг - уехал из Дании в Германию, в обмен на что король лишил его канонического сана. После этого Тихо написал протест, в котором указал на невозможность продолжать свою работу без надлежащих пожертвований и предложил вернуться, если его услуги будут должным образом оценены. Король, однако, к этому времени был серьезно раздосадован, и его ответом было перечисление различных причин жалоб на Тихо, возникших в последние годы. Хотя Тихо предпринял еще несколько попыток через различных друзей вернуть королевскую милость, разрыв остался окончательным.

107. Зиму 1597-8 гг. Тихо провел у друга близ Гамбурга и, находясь там, опубликовал под названием "*Astronomiae Instauratae Mechanica"*описание своих инструментов вместе с краткой автобиографией и интересным отчетом о своих главных открытиях. Примерно в то же время он распространил рукописные копии каталога из 1000 неподвижных звезд, из которых только 777 были должным образом замечены, остальные были поспешно добавлены, чтобы составить традиционное число. Каталог и *Механика* были предназначены в основном как свидетельства его астрономического превосходства и были разосланы различным влиятельным лицам. Переговоры продолжались как с императором, так и с принцем Оранским, и после еще одного года, проведенного в различных частях Германии, Тихо определенно принял приглашение императора и прибыл в Прагу в июне 1599 года.

108. Вскоре было решено, что он поселится в замке Бенатек, примерно в двадцати милях от Праги, где он соответственно поселился со своей семьей и более мелкими инструментами ближе к концу 1599 года. Он сразу же приступил к наблюдениям, послал одного из своих сыновей в Хвин за приборами побольше и начал подыскивать помощников. Он нанял одного из самых способных своих старых помощников, и, по счастливой случайности, ему также удалось привлечь гораздо более выдающегося человека,*Джона Кеплера*, чьему умелому использованию материалов, собранных Тихо, последний обязан немалой частью своей великой репутации. Кеплер, чья жизнь и деятельность будут подробно рассмотрены в главе VII, недавно опубликовал свою первую важную работу "*Mysterium Cosmographicum"* (§ 136), которая привлекла внимание Тихо среди прочих, и начал испытывать неудобства из-за надвигающихся религиозных споров в Граце в Штирии. После некоторых колебаний он присоединился к Тихо в

Бенатеке в начале 1600 года. Вскоре он был привлечен к изучению Марса для составления планетных таблиц, которые в то время готовил Тихо, и таким образом приобрел особое знакомство снаблюдениями за этой планетой, накопленными Тихо. Отношения двух астрономов были не совсем счастливыми, Кеплер тогда, как всегда, был озабочен денежными вопросами, а неспокойное положение в стране затрудняло Тихо получение оплаты от императора. Следовательно, Кеплер очень скоро покинул Бенатек и вернулся в Прагу, где он окончательно обосновался после короткого визита в Грац; Тихо также переехал туда ближе к концу 1600 года, и затем они гармонично работали вместе в течение короткого остатка жизни Тихо. Хотя он ни в коем случае не был стариком, были некоторые признаки того, что его здоровье пошатнулось, и ближе к концу 1601 года его внезапно охватила болезнь, которая смертельно закончилась через несколько дней (24 ноября). Характерно для его преданности великому делу своей жизни то, что в бреду, предшествовавшем его смерти, он снова и снова взывал к надежде, что его жизнь, возможно, не была бесплодной (*Ne frustra vixisse videar*).

109. Отчасти из-за разногласий между Кеплером и одним из членов семьи Тихо, отчасти из-за растущих политических беспорядков инструментами Тихо после его смерти почти не пользовались, и большинство из них погибло во время гражданских войн в Богемии. Кеплер получил в свое распоряжение свои наблюдения, но они никогда не публиковались, кроме как в несовершенном виде.

110. Что-либо похожее на удовлетворительный отчет о заслугах Тихо в астрономии обязательно касалось бы в основном технических деталей методов наблюдений, которые были бы здесь неуместны. Возможно, однако, стоит попытаться дать некоторый общий отчет о его характеристиках как наблюдателя, прежде чем обращаться к специальным открытиям.

Тихо более полно, чем кто-либо из его предшественников, осознавал важность получения наблюдений, которые должны быть не только максимально точными, но и проводиться так часто, чтобы сохранять почти непрерывную запись положений и движений небесных тел, с которыми имеет дело; в то время как преобладающий обычай (как проиллюстрировано, например, Копперником) состоял в том, чтобы проводить наблюдения только время от времени, либо когда происходило астрономическое событие, представляющее особый интерес, такое как затмение или соединение, либо для получения каких-то конкретных данных, необходимых для теоретического обоснования. В то время как Копперник, как уже было отмечено (глава IV,§ 73), использовал в своей книге всего несколько десятков наблюдений, Тихо — возьмем, к примеру, — наблюдал солнце *ежедневно* в течение многих лет и, следовательно, должен был провести несколько тысяч наблюдений за этим единственным телом в дополнение к многим тысячам наблюдений за другими небесными телами. Это правда, что у арабов была некоторая идея о непрерывных наблюдениях (см. главу III, § 57), но у них было слишком мало умозрительной силы или оригинальности, чтобы иметь возможность широко использовать свои наблюдения, немногие из которых перешли в руки европейских астрономов. Региомонтанус (глава III., § 68), если бы он был жив, вероятно, в значительной степени предвосхитил бы Тихо, но его короткая жизнь была слишком полностью занята изучением и интерпретацией греческой астрономии, чтобы он мог многого добиться в других областях предмета. Ландграф и его сотрудники, находившиеся в постоянной связи с Тихо, работали в том же направлении, хотя в целом менее эффективно. Однако, в отличие от арабов, Тихо был полностью убежден в том, что наблюдения являются лишь средством достижения цели и что от простых наблюдений без гипотезы или теории, связывающей и интерпретирующей их, мало пользы.

Фактическая точность, полученная Тихо в его наблюдениях, естественно, значительно варьировалась в зависимости от характера наблюдения, проявленной тщательности и периода его карьеры, вкоторый это было сделано. Места, которые он присвоил девяти звездам, которые были фундаментальными в его звездном каталоге, отличаются от их положений, выведенных из лучших современных наблюдений, углами, которые в большинстве случаев меньше 1', и только в одном случае достигают 2' (эта ошибка была вызвана главным образом рефракцией (глава II.,§ 46), знания Тихо о которой неизбежно были несовершенными). Расположение других звезд, по-видимому, было менее точным, но это будет недалеко от истины, если мы предположим, что в большинстве случаев ошибки в наблюдениях Тихо не превышали 1' или 2'. Кеплер в известном отрывке говорит об ошибке в 8' при наблюдении планеты Тихо как о невозможной. Это значительное повышение точности может быть лишь частично объяснено размером и тщательной конструкцией используемых инструментов - характеристиками, на которые арабы и другие наблюдатели так обращали внимание. Тихо, безусловно, использовал хорошие инструменты, но значительно повысил их эффективность, частично за счет второстепенных механических устройств, таких как использование специально сконструированных “прицелов” и особого метода градуировки,65 и частично за счет использования инструментов, способных совершать только ограниченные движения и, следовательно, обладающих гораздо большей устойчивостью, чем инструменты, которые могли указывать на любую часть неба. Другая чрезвычайно важная идея заключалась в том, чтобы систематически, насколько это возможно, учитывать неизбежные механические недостатки даже самых лучших сконструированных инструментов, а также другие постоянные причины ошибок. Например, давно было известно, что преломление света в атмосфере приводит к тому, что видимые места звезд на небе слегка увеличиваются. Тихо провел серию наблюдений, чтобы установить величину этого смещения для различных частей неба, следовательно, составил таблицу преломлений (правда, очень несовершенную), и в будущих наблюдениях регулярно учитывал эффект преломления. Опять же, было известно, что наблюдения солнца и планет могут быть нарушены эффектом параллакса (глава II, § § 43, 49), хотя величина этой поправки была неопределенной. В случаях, когда требовалась особая точность, Tycho соответственно наблюдал рассматриваемое тело по крайней мере дважды, выбирая положения, в которых параллакс, как было известно, вызывал почти противоположные эффекты, и, таким образом, путем объединения наблюдений получил результат, практически свободный от этого конкретного источника ошибок. Он также был одним из первых, кто полностью осознал важность многократного повторения одного и того же наблюдения в различных условиях, чтобы различные случайные источники ошибок в отдельных наблюдениях, насколько это возможно, нейтрализовали друг друга.

111. Почти каждая важная астрономическая величина была им переопределена и в целом исправлена. Например, годовое движение апогея солнца относительно ♈которое Копперник оценил в 24 дюйма, Тихо установил равным 45 дюймам, современное значение - 61 дюйм; продолжительность года он определил с ошибкой менее секунды; и он построил таблицы движения солнца, в которых его место было с точностью до 1 дюйма, причем предыдущие таблицы иногда ошибались на 15 или 20 дюймов. По досадному упущению он не исследовал расстояние до солнца, но принял крайне неточное значение, которое передавалось без существенных изменений от астронома к астроному со времен Гиппарха (глава II,§ 41).

В теории луны Тихо сделал несколько важных открытий. Он обнаружил, что неравномерности в ее движении не были полностью представлены уравнением центра и отклонения (глава II,§§ 39, 48), но что существовала еще одна неравномерность, которая исчезала при противостоянии и

соединении, а также при квадратурах, но при промежуточных положениях Луны могла достигать 40'. Эта неправильность, известная как **вариация**, была, как уже упоминалось (глава III,§ 60), весьма возможно, обнаружена Абуль Вафой, хотя впоследствии она была полностью утеряна. На более позднем этапе своей карьеры, самое позднее во время своего визита в Виттенберг в 1598-1598 годах, Тихо обнаружил, что необходимо ввести еще одно небольшое неравенство,известное как **годовое уравнение**, которое зависело от положения земли на ее пути вокруг Солнца; это, однако, он никогда полностью не исследовал. Он также установил, что наклон орбиты Луны к эклиптике не был, как считалось ранее, постоянным, а регулярно колебался, и что движение узлов Луны (глава II., § 40) также изменялось.

112. Ссылка на звездный каталог уже делалась. Его построение привело к изучению прецессии, величина которой была определена со значительной точностью; то же исследование побудило Тихо отвергнуть предполагаемую неравномерность прецессии, которая под названием "трепет" (глава III.,§ 58) запутывала астрономию в течение нескольких столетий, но с этого времени быстро потеряла свою популярность.

Планеты всегда были любимым предметом изучения Тихо, но, хотя он сделал великолепную серию наблюдений, имевших огромную ценность для его преемников, он умер прежде, чем смог построить какую-либо удовлетворительную теорию движения планет. Однако он легко обнаружил, что их движения значительно отклоняются от тех, которые указаны в любой из планетных таблиц, и дошел до того, что обнаружил некоторую закономерность в этих отклонениях.

ГЛАВА VI.
ГАЛИЛЕЙ.

“Dans la Science nous sommes tous disciples de Galilée.”—Trouessart.

“Бэкон издалека указал путь к истинной философии: Галилей одновременно указывал на него другим и сам значительно продвинулся в этом”. — Дэвид Юм.

113. К поколению, сменившему Тихо, принадлежали два самых известных из всех астрономов, Галилей и Кеплер. Хотя они были почти современниками, Галилей родился на семь лет раньше Кеплера и пережил его на двенадцать лет, их методы работы и их вклад в астрономию были настолько разными по характеру, а их влияние друг на друга настолько незначительным, что удобно несколько отступить от строгого хронологического порядка и посвятить эту главу исключительно Галилею, предоставив Кеплеру следующую.

Галилео Галилей родился в 1564 году в Пизе, в то время в Великом герцогстве Тосканском, в день смерти Микеланджело и в год рождения Шекспира. Его отец, Винченцо, был бедным членом хорошей флорентийской семьи и отличался своими способностями к музыке и математике. Таланты Галилея проявились рано, и хотя изначально предполагалось, что он будет зарабатывать себе на жизнь торговлей, Винченцо был достаточно мудр, чтобы увидеть, что способности и вкусы его сына делают его гораздо более пригодным для профессиональной

карьеры, и поэтому в 1581 году отправил его изучать медицину в Пизанский университет. Здесь его необычные способности вскоре привлекли к нему внимание, и он стал известен, в частности, своим нежеланием безоговорочно принимать догматические утверждения своих учителей, которые основывались не на прямых доказательствах, а на авторитете великих писателей прошлого. Эта ценная характеристика, которая отличала его на протяжении всей жизни, вкупе с его умением аргументировать, снискала ему неприязнь некоторых профессоров, а у сокурсников - прозвище Спорщика.

114. В 1582 году его острая наблюдательность привела к его первому научному открытию. Однажды, находясь в Пизанском соборе и наблюдая за раскачиванием лампы, свисавшей с крыши, он заметил, что по мере того, как движение постепенно затихало и протяженность каждого колебания становилась меньше, время, затрачиваемое на каждое колебание, оставалось практически неизменным, результат, который он более точно проверил, сравнив с биением своего пульса. Дальнейшие размышления и испытания показали ему, что это свойство присуще не только лампам в соборе, но и тому, что любой груз, подвешенный на веревочке (или любой другой форме маятника), раскачивается взад и вперед во времени, которое зависит только от длины веревки и других характеристик самого маятника, и ни в какой заметной степени не зависит от способа, которым он приводится в движение, или от интенсивности каждого колебания. Соответственно, он изобрел прибор, колебания которого можно было использовать в качестве меры времени, пока они продолжались, и который на практике был признан врачами очень полезным для измерения частоты пульса пациента.

115. Вскоре стало очевидно, что Галилей не имел особого пристрастия к медицине - предмету, выбранному для него главным образом как ведущий к достаточно прибыльной профессиональной карьере, - и что его настоящая склонность заключалась в математике и ее приложениях к экспериментальной науке. Он практически не получал формального обучения математике до своего второго курса в университете, в ходе которого он случайно подслушал урок геометрии Евклида, читавшийся при дворе великого герцога, и был настолько очарован, что продолжал посещать курс, сначала тайно, а затем открыто; таким образом, его интерес к предмету был настолько сильно стимулирован, а его способности к нему были настолько заметны, что он получил согласие своего отца оставить медицину в пользу математики.

Однако в 1585 году бедность вынудила его бросить университет, не пройдя обычного курса и не получив ученой степени, и следующие четыре года он провел в основном дома, где продолжал читать и размышлять на научные темы. В 1586 году он написал свое первое известное научное эссе,66 которое было распространено в рукописи и напечатано только в нынешнем столетии.

116. В 1589 году он был назначен на три года профессором математики (включая астрономию) в Пизе. К должности прилагалась мизерная стипендия, эквивалентная примерно пяти шиллингам в неделю, но и ее он в какой-то степени мог пополнять, беря частных учеников.

На своем новом посту Галилей мог проявить свою замечательную силу изложения, но был далек от того, чтобы довольствоваться чтением лекций в традиционном ключе, он также провел ряд научных исследований, важных как самих по себе, так и из-за новизны используемого метода исследования.

Будет удобно более подробно обсудить вклад Галилея в механику и научный метод в конце этой главы и просто кратко упомянуть здесь о его первых экспериментах с падающими телами,

которые были проведены в то время. Некоторые из них выполнялись путем сбрасывания различных тел с вершины Пизанской башни, а другие - путем скатывания шариков по канавкам, расположенным под разным наклоном. Нам трудно в наши дни, когда научные экспериментыстали таким обычным явлением, осознать новизну и важность таких простых экспериментов в конце 16 века. Средневековая традиция проведения научных исследований в основном путем интерпретации текстов Аристотеля, Галена или других великих писателей прошлого и вывода результатов из общих принципов, которые можно было найти у этих авторов, без какого-либо нового обращения к наблюдениям, все еще преобладала в Пизе, как и везде, почти без изменений. В частности, на основании авторитета Аристотеля обычно утверждалось, что, поскольку причиной падения тяжелого тела является его вес, более тяжелое тело должно падать быстрее, чем более легкое, и пропорционально его большему весу. Возможно, можно усомниться в том, что кто-либо до Галилея имел достаточно ясные представления по этому вопросу, чтобы быть в состоянии дать определенный ответ на такой вопрос, как, насколько дальше десятифунтовый груз упадет за секунду, чем однофунтовый; но если бы это было так, он, вероятно, сказал бы, что он упадет в десять раз дальше, или же что ему потребуется в десять раз больше времени, чтобы упасть на то же расстояние. Провести эксперимент на практике, изменить его условия, чтобы устранить как можно больше случайных причин ошибок, каким-то образом увеличить время падения, чтобы его можно было измерить с большей точностью, - эти идеи, воплощенные Галилеем в жизнь, были совершенно чужды преобладающим привычкам научной мысли и действительно рассматривались большинством его коллег как нежелательные, если не опасные нововведения. Нескольких простых экспериментов было достаточно, чтобы доказать полную ложность существующих представлений по этому вопросу и установить, что в целом тела разного веса падают почти на одинаковое расстояние за одно и то же время, разница не превышает той, которую можно обоснованно приписать сопротивлению воздуха.

Эти и другие результаты были воплощены в трактате, который, как и большинство ранних работ Галилея, был распространен только в рукописи, суть его была впервые напечатана в большом трактате по механике, который он опубликовал ближе к концу своей жизни (§ 133).

Эти нововведения вкупе с небольшим уважением, которое он имел привычку оказывать тем, кто отличался от него, очевидно, сделали Галилея непопулярным среди его коллег в Пизе, и либо по этой причине, либо из-за семейных неурядиц, последовавших за смертью его отца (1591), он оставил профессорскую должность незадолго до истечения срока своих полномочий и вернулся в дом своей матери во Флоренции.

117. После нескольких месяцев, проведенных во Флоренции, он был назначен, под влиянием венецианского друга, профессором математики в Падуе, которая тогда находилась на территории Венецианской республики (1592). В первую очередь назначение было назначено сроком на шесть лет, а зарплата была намного выше, чем в Pisa. В течение первых нескольких лет карьеры Галилея в Падуе его деятельность, по-видимому, была очень велика и разнообразна; в дополнение к чтению своих регулярных лекций для аудитории, которая быстро увеличивалась, он писал трактаты, по большей части не печатавшиеся в то время, по астрономии, механике и фортификации, и изобрел множество научных инструментов.

Не существует записей о точном времени, когда он впервые принял астрономические взгляды Копперника, но он сам заявил, что в 1597 году он принял их за несколько лет до этого и собрал аргументы в их поддержку.

В следующем году его профессорское звание было продлено на шесть лет с увеличенной стипендией, которая впоследствии продлевалась еще на шесть лет и, наконец, пожизненно, причем стипендия увеличивалась каждый раз.

Первый вклад Галилея в астрономические открытия был сделан в 1604 году, когда в созвездии Змееносца внезапно появилась звезда, и он показал, что она во всяком случае находится дальше планет, что подтверждает выводы Тихо (глава V.,§ 100) о том, что изменения происходят в небесных областях даже за пределами планет и ни в коем случае не ограничиваются — как обычно считалось — землей и ее ближайшим окружением.

118. К этому времени Галилей прославился на всю Италию не только как блестящий лектор, но и как образованный и оригинальный человек науки. Однако открытиями, которые впервые принесли ему европейскую известность, была серия телескопических наблюдений, сделанных в 1609 году и в последующие годы.

Роджер Бэкон (глава III, § 67) утверждал, что изобрел комбинацию линз, позволяющих видеть удаленные объекты так, как если бы они были рядом; подобное изобретение, вероятно, было сделано нашим соотечественником *Леонардом Диггесом* (умер около 1571 года), а также описано итальянцем *Портой* в 1558 году. Если такой инструмент действительно был изготовлен кем-либо из троих, в чем нет уверенности, то открытие во всяком случае не привлекло внимания и снова было утеряно. Эффективное открытие телескопа было сделано в Голландии в 1608 году *Гансом Липперсхаймом* (?-1619), изготовителем очков из Мидлбурга, и почти одновременно двумя другими голландцами, но независимо или нет, сказать невозможно. В начале следующего года сообщение об изобретении дошло до Галилея, который, хотя и не имел какой—либо подробной информации о конструкции прибора, после нескольких попыток преуспел в размещении двух линз — одной выпуклой и одной вогнутой - в трубе таким образом, чтобы увеличить видимый размер рассматриваемого объекта; благодаря его первому прибору объекты казались в три раза ближе, следовательно, в три раза больше (по ширине и высоте), и вскоре он смог создавать телескопы, которые таким же образом увеличивались в тридцать раз.

То, что новый инструмент может быть применен как к небесным, так и к земным объектам, было довольно очевидной идеей, которая почти сразу же была реализована английским математиком *Томасом Хэрриотом* (1560-1621), *Симоном Мариусом* (1570-1624) в Германии и Галилеем. То, что заслуга первого использования телескопа в астрономических целях почти неизменно приписывается Галилею, хотя его первые наблюдения, по всей вероятности, были несколько более поздними по времени, чем наблюдения Хэрриота и Мариуса, в значительной степени оправдано настойчивостью, с которой он исследовал объект за объектом, всякий раз, когда казалась разумная перспектива получения результатов, энергией и остротой, с которой он следовал каждой подсказке, независимостью ума, с которой он интерпретировал свои наблюдения, и, прежде всего, проницательностью, с которой он осознавал их астрономическую важность.

119. Его первая серия телескопических открытий была опубликована в начале 1610 года в небольшой книге под названием *Sidereus Nuncius*, или *Звездный вестник*. Его первые

наблюдения сразу же пролили поток света на природу нашего ближайшего небесного соседа, Луны. Обычно считалось, что Луна, как и другие небесные тела, идеально гладкая и сферическая, и причина появления знакомых темных отметин на ее поверхности была совершенно неизвестна.67

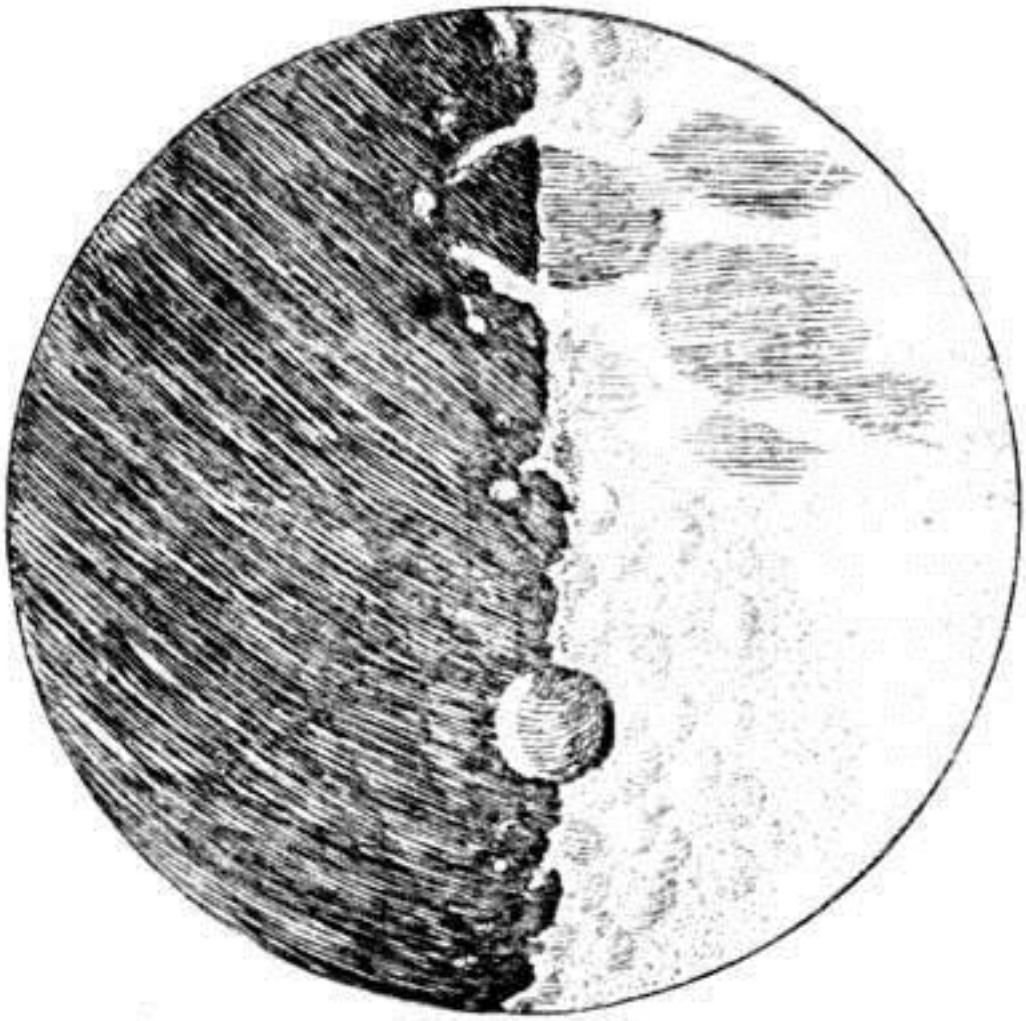


Рис. 53. — Один из рисунков Луны Галилея. От *Сидерея Нунция*. [

[*Лицом к лицу, стр. 150.*

Галилей сразу же обнаружил ряд более мелких отметин, как ярких, так и темных (рис. 53), и распознал многие из последних как тени лунных гор, отбрасываемые солнцем; и далее идентифицировал яркие пятна, видимые вблизи границы освещенной и темной частей Луны, как горные вершины, только что уловившие свет восходящего или заходящего солнца, в то время как окружающая лунная область все еще была погружена во тьму. Более того, со свойственной ему изобретательностью и любовью к точности, он вычислил на основе наблюдений такого рода высоту некоторых из наиболее заметных лунных гор, самая большая из которых, по его оценкам, составляет около четырех миль в высоту, что полностью согласуется с современными оценками наибольшей высоты Луны. Большие темные пятна он объяснил (ошибочно), что они, возможно, вызваны водой, хотя он, очевидно, был менее уверен в

правильности объяснения, чем некоторые из его непосредственных научных преемников, которые дали этим пятнам название**морей** (глава VIII., § 153). Он также заметил отсутствие облаков. Однако, помимо деталей, действительно значимыми результатами его наблюдений было то, что Луна во многих важных отношениях похожа на землю, что от традиционной веры в ее идеально сферическую форму пришлось отказаться и что до сих пор общепринятое учение о резком различии, которое следует проводить между небесными иземными объектами, было признано необоснованным; важность этого в связи с точкой зрения Копперника о том, что земля не уникальна, а является одной из шести планет, вращающихся вокруг солнца, не нуждается в комментариях.

Один из многочисленных научных оппонентов Галилея68 попытался объяснить очевидное противоречие между старой теорией и новыми наблюдениями остроумным предположением, что видимые впадины на Луне на самом деле заполнены каким-то *невидимым* кристаллическим материалом, так что Луна на самом деле имеет идеальную сферическую форму. На это Галилей ответил, что идея настолько превосходна, что он хотел бы расширить ее применение, и соответственно утверждал, что на Луне есть горы из того же невидимого вещества, по меньшей мере в десять раз превышающие все, что он наблюдал.

120. Телескоп также выявил существование огромного количества звезд, слишком слабых, чтобы их можно было увидеть невооруженным глазом; Галилей видел, например, 36 звезд в Плеядах, которые обычному глазу кажутся состоящими всего из шести. Было также обнаружено, что части Млечного Пути и различные туманные пятна света состоят из множества тусклых звезд, сгруппированных вместе; например, в скоплении Præsepe (в форме Краба) он насчитал 40 звезд.

121. Безусловно, самым поразительным открытием, объявленным в *"Звездном вестнике"*, было открытие тел, известных сейчас как луны или спутники Юпитера. 7 января 1610 года Галилей направил свой телескоп на Юпитер и заметил три слабые звезды, которые привлекли его внимание своей близостью к планете и расположением почти на прямой линии с ней. Следующей ночью он посмотрел снова и заметил, что они изменили свое положение относительно Юпитера, но это изменение, по-видимому, не было таким, какое могло бы быть результатом собственного движения Юпитера, если бы новые тела были неподвижными звездами. Две ночи спустя он смог подтвердить этот вывод и сделать вывод, что новые тела были не неподвижными звездами, а движущимися телами, которые сопровождали Юпитер в его движениях. 13 января было замечено четвертое тело, и Галилей вскоре распознал движения всех четырех тел как движения вращения вокруг Юпитера как центра. С характерной для него тщательностью он наблюдал за движением новых тел ночь за ночью и ко времени публикации своей книги уже с очень высокой точностью оценил периоды их обращения вокруг Юпитера, которые колебались примерно от 42 часов до 17 дней; и он продолжал наблюдать за их движением в течение многих лет.

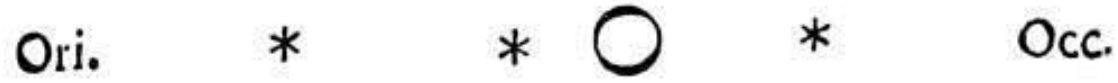


Рис. 54.— Юпитер и его спутники, видимые 7 января 1610 года. От *Сидерея Нунция*.

Сначала их первооткрыватель назвал новые тела планетами Медичи в честь своего покровителя Космо де Медичи, великого герцога Тосканского; но было очевидно, что тела, вращающиеся

вокруг планеты, поскольку сами планеты вращаются вокруг Солнца, образовали новый класс тел, отличный от известных планет, и название**спутник**, предложенное Кеплером как применимое как к новым телам, так и к Луне, было общепринятым.

Открытие спутников Юпитера показало ложность старого учения о том, что Земля была единственным центром движения; более того, оно имело тенденцию серьезно дискредитировать непогрешимость Аристотеля и Птолемея, которые явно ничего не знали о существовании таких тел; и снова те, кому было трудно поверить, что Венера и Меркурий могли вращаться вокруг явно движущегося тела, солнца, не могли не развеять свои сомнения, когда увидели, что новые спутники, очевидно, совершают движение именно такого характера; и — самое важное следствие из всего — очень реальная механическая сложность участие в копперниканской концепции Луны, вращающейся вокруг движущейся земли и не отстающей от нее, во всяком случае, не было непреодолимым, поскольку спутникам Юпитера удалось совершить точно такой же подвиг.

Те же причины, которые придали телескопическим открытиям Галилея научное значение, сделали их также нежелательными для сторонников старых взглядов, и соответственно они подверглись нападкам в ряде брошюр, некоторые из которых сохранились до наших дней и представляют определенный интерес. Некий *Мартин Хорки*, например, молодой немец, учившийся у Кеплера, опубликовал брошюру, в которой,*после* того, как он к собственному удовлетворению доказал, что спутников Юпитера не существует, он довольно подробно рассказал о том, что они собой представляли, на что были похожи и почему существовали. Другой автор серьезно утверждал, что, поскольку в человеческом теле есть семь отверстий — глаза, уши, ноздри и рот, — следовательно, по аналогии, должно быть семь планет (включая солнце и Луну) и не более. Однако вскоре было получено подтверждение от других наблюдателей, и маятник даже начал качаться в противоположном направлении, различные наблюдатели объявили о появлении ряда новых спутников Юпитера. Однако ни один из них не оказался подлинным, и четыре спутника Галилея оставались единственными известными спутниками Юпитера еще несколько лет назад (глава XIII, § 295).

122. Репутация, приобретенная Галилеем благодаря публикации "*Вестника*", позволила ему привести к удовлетворительному результату переговоры по этому вопросу, которые он в течение некоторого времени вел с тосканским двором. Хотя венецианцы хорошо относились к нему, он начал чувствовать, что бремя регулярного преподавания несколько утомляет, и стремился уделять больше времени исследованиям и писательской деятельности. Вряд ли можно было ожидать, что республика предоставит ему такую синекуру, какую он хотел, и, соответственно, летом 1610 года он согласился на должность профессора в Пизе, а также “Первого философа и математика” при великом герцоге Тосканском, с солидным жалованьем и без каких-либо определенных обязанностей, связанных ни с тем, ни с другим постом.

123. Незадолго до отъезда из Падуи он направил свой телескоп на Сатурн и заметил, что планета, по-видимому, состоит из трех частей, как показано на первом рисунке рис. 67 (глава VIII,§ 154). Однако в последующих случаях ему не удавалось увидеть ничего, кроме центрального тела, и появление Сатурна продолжало вызывать недоумение, пока тайна не была разгадана Гюйгенсом в 1655 году (глава VIII,§ 154).

Первое открытие, сделанное во Флоренции (октябрь 1610 г.), заключалось в том, что Венера, которая невооруженным глазом кажется сильно различающейся по яркости, но не по форме, на

самом деле временами имела форму полумесяца, подобную новолунию, и проходила фазы, сходные с фазами некоторых лун. Это показало, что Венера, подобно Луне, сама по себе была темным телом, черпающим свой свет от солнца; так что ее сходство с землей стало тем самым более очевидным.

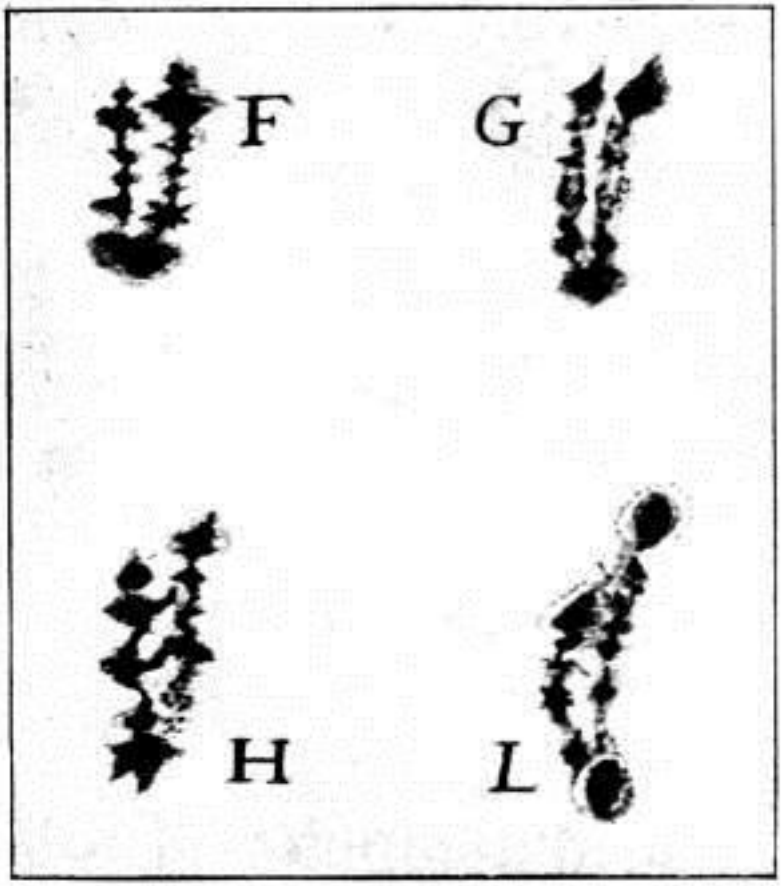


Рис. 55.—Солнечные пятна. Из книги Галилея "*Макки Солари*".

[*Лицом к лицу, стр. 154.*

124. Открытие темных пятен на солнце завершило эту серию открытий, сделанных с помощью телескопа. Согласно его собственному заявлению, Галилей впервые увидел их в конце 1610 г.,69 но, по-видимому, в то время не обратил на них особого внимания; и, хотя он из любопытства показывал их разным друзьям, он не делал официального объявления об открытии до мая 1612 г., к тому времени то же самое открытие было независимо сделано Хэрриотом (§ 118) в Англии, *Джоном Фабрициусом* (1587-? 1615) в Голландии и иезуитом *Кристофером Шайнером* (1575-1650) в Германии и опубликовано Фабрициус (июнь 1611 г.). На самом деле темные пятна были видны невооруженным глазом задолго до этого, но обычно предполагалось, что они вызваны прохождением Меркурия перед солнцем. Наличие на солнце таких пятен, как черные точки, "изменчивость", связанная с их изменением формы и положения, а также их образование и последующее исчезновение, - все это вызывало отвращение у сторонников старых взглядов, согласно которым небесные тела были совершенными и неизменными. Факт, замеченный всеми первыми наблюдателями, что пятна, казалось, перемещались по поверхности солнца с восточной на западную сторону (*т.е.* примерно слева направо, как видно

в полдень наблюдателю в наших широтах), на первый взгляд подтверждал точку зрения, отстаиваемую Шайнером среди прочих, что пятна действительно могут быть маленькими планетами, вращающимися вокруг солнца и появляющимися в виде темных объектов всякий раз, когда они проходили между солнцем и наблюдателем. В трех письмах своему другу Вельзеру, принцу-купцу из Аугсбурга, написанных в 1612 году и опубликованных в следующем году, 70 Галилей, давая полный отчет о своих наблюдениях, дал сокрушительное опровержение этой точки зрения; доказал, что пятна должны находиться на поверхности солнца или близко к ней и что наблюдаемые движения были в точности такими, какие могли бы возникнуть, если бы пятна были прикреплены к солнцу и оно вращалось вокруг оси в течение примерно месяца; и далее, отказываясь от какого-либо желания говорить уверенно, обратил внимание на несколько их точек сходства к облакам.

Один из его аргументов против взглядов Шайнера настолько прост и в то же время настолько убедителен, что, возможно, стоит воспроизвести его в качестве иллюстрации метода Галилея, хотя само противоречие совершенно мертво.

Галилей заметил, а именно, что, хотя пятну требуется около четырнадцати дней, чтобы пересечь одну сторону солнца до другой, и это время было одинаковым независимо от того, проходило ли пятно через центр солнечного диска или по более короткому пути на некотором расстоянии от него, скорость его движения ни в коем случае не была одинаковой, но движение пятна всегда казалось намного медленнее вблизи края солнца, чем вблизи центра. Он распознал в этом эффект ракурса, который мог возникнуть в том случае, и только в том случае, если пятно находилось близко к солнцу.

Если, например, на рисунке круг представляет сечение солнца плоскостью, проходящей через наблюдателя в точке O, а A, B, C, D, E - точки, взятые на равных расстояниях вдоль поверхности солнца, чтобы представлять положения объекта на солнце через равные промежутки времени, исходя из предположения, что солнце вращается равномерно, то видимое движение от A до B, видимое наблюдателем в точке O, измеряется углом A Ob и, очевидно, намного меньше, чем движение от D до E, измеренное углом D Oe, и, очевидно, намного меньше, чем движение от D до E, измеренное углом D Oe, и, очевидно, следовательно, объект, прикрепленный к солнцу, должен казаться движущимся медленнее от A к B, *то есть* ближе к краю солнца, чем от D к E, ближе к центру. С другой стороны, если пятно представляет собой тело, вращающееся вокруг солнца на некотором расстоянии от него, *например,* вдоль пунктирной окружности *c d e*, то, если *c*, *d*, *e* взять на равных расстояниях друг от друга, видимое движение от *c* к *d*, измеренное снова углом *c* O *d*, будет лишь ненамного меньше, чем движение от *d* к *e*, измеренное углом *d* O *e*. Более того, потребовался всего лишь простой расчет, выполненный Галилеем в нескольких случаях, чтобы выразить эти результаты в числовой форме и, таким образом, вывести из фактических наблюдений, что пятна не могли находиться на расстоянии более очень умеренного от солнца. Единственным выходом из этого заключения было предположение, что пятна, если они были телами, вращающимися вокруг Солнца, двигались нерегулярно, таким образом, что они всегда двигались быстрее всего, когда оказывались между центром солнца и землей, независимо от положения земли в то время, процедура, для которой, с одной стороны, не могло быть приведено никаких оснований, и которая, с другой стороны, полностью противоречила единообразию, за которое так твердо держалась средневековая астрономия.

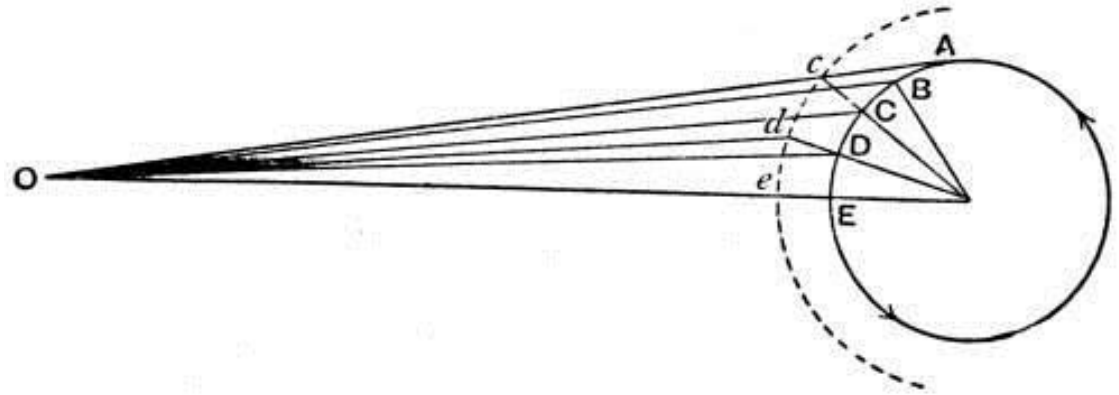


Рис. 56. Доказательство Галилея о том, что солнечные пятна не являются планетами.

Установленное таким образом вращение солнца вокруг оси, очевидно, могло быть использовано в качестве аргумента в поддержку точки зрения, что земля также имела такое движение, но, насколько мне известно, ни Галилей, ни кто-либо из современников не заметили аналогии. Среди других фактов, относящихся к пятнам, замеченным Галилеем, были большая темнота центральных частей, некоторые из его рисунков (см. рис. 55), показывающий, как и на большинстве современных рисунков, довольно четко обозначенную линию разделения между центральной частью (или **тенью**) и менее темной каймой (или **полутенью**), окружающей ее; он заметил также, что пятна часто появлялись группами, что члены группы меняли свое положение относительно друг друга, что отдельные пятна значительно меняли свой размер и форму в течение своей жизни и что пятен обычно было больше всего в двух регионах по каждую сторону солнечного экватора, что примерно соответствует тропикам на нашем земном шаре, и их никогда не видели далеко за этими пределами.

Аналогичные наблюдения были сделаны другими телескопистами, и Шайнеру принадлежит заслуга определения со значительно большей точностью, чем Галилею, положения оси и экватора Солнца, а также времени его вращения.

125. Спор с Шайнером относительно природы пятен, к сожалению, перерос в личную ссору по поводу их соответствующих претензий на открытие пятен, спор, который сделал Шайнера его злейшим врагом и, вероятно, немало способствовал враждебности, с которой Галилей с тех пор относился к иезуитам. Бескомпромиссное отстаивание Галилеем новых научных идей, легкое уважение, которое он проявлял к устоявшимся и традиционным авторитетам, и едкий сарказм, с которым он имел привычку приветствовать своих оппонентов, снискали ему большое количество врагов в научных и философских кругах, особенно среди многочисленной партии, выступавшей от имени Аристотеля, хотя, как Галилей никогда не уставал им напоминать, их методы мышления и выводы, по всей вероятности, были бы отвергнуты великим греческим философом, если бы он был жив.

Вероятно, отчасти из-за осознания растущей враждебности к его взглядам как в научных, так и в церковных кругах Галилей нанес короткий визит в Рим в 1611 году, когда ему был оказан самый почетный прием и несколько кардиналов и других высокопоставленных лиц отнеслись к нему с большим дружелюбием.

К сожалению, вскоре он начал втягиваться в спор относительно относительной значимости в научных вопросах наблюдений и рассуждений, с одной стороны, и авторитета Церкви и Библии

- с другой, спор, который начал формироваться примерно в это время и который, хотя поле его битвы переходило от науки к науке, продолжался почти без перерыва до наших дней.

В 1611 году был опубликован трактат, утверждающий, что спутники Юпитера не соответствуют Писанию. В 1612 году Галилей проконсультировался у кардинала Конти относительно астрономического учения Библии и получил от него мнение, что Библия, по-видимому, не одобряет как аристотелевскую доктрину неизменности небес, так и доктрину Коперника о движении земли. Трактат Галилея о плавающих телах, опубликованный в 1612 году, вызвал новую оппозицию, но, с другой стороны, кардинал Барберини (который впоследствии, как Урбан VIII, принимал ведущее участие в его преследовании) особо поблагодарил его за презентационный экземпляр книги о солнечных пятнах, в которой Галилей впервые публично ясно провозгласил свою приверженность системе Коперника. Втом же году (1613) его друг и последователь, отец Кастелли, был назначен профессором математики в Пизе со специальными инструкциями не читать лекций о движении земли. В течение нескольких месяцев Кастелли был втянут в дискуссию о связи Библии с астрономией в доме великой герцогини и процитировал Галилея в поддержку своих взглядов; это побудило Галилея довольно подробно изложить свое мнение в письме Кастелли, которое было распространено при дворе в рукописи. На это доминиканский проповедник Каччини ответил несколько месяцев спустя яростной проповедью на этот текст: “Вы, галилеяне, почему стоите и смотрите на небо?”71 и в 1615 году Галилей был тайно выдан инквизиции на основании письма Кастелли и других свидетельств. В том же году он расширил письмо Кастелли до более подробного трактата в форме *Письма великой герцогине Кристине*, которое было распространено в рукописи, но не печаталось до 1636 года. Обсуждение влияния отдельных отрывков Библии (*например,* рассказа о чуде Иисуса Навина) на системы Птолемея и Коперника в настоящее время утратило большую часть своего интереса; однако, возможно, стоит отметить, что по более общему вопросу Галилей с одобрением цитирует высказывание кардинала Барониуса: “Намерение Святого Духа состоит в том, чтобы научить нас не тому, как устроены небеса, а тому, как попасть на небеса”,72 и следующий отрывок дает хорошее представление об общем ключе его аргументации:

Мне кажется, что при обсуждении естественных проблем нам следует исходить не из авторитетных мест Священного Писания, а из разумных экспериментов и необходимых демонстраций. Ибо ... Природа неумолима и неизменна и никогда не выходит за рамки предписанных ей Законов, поскольку ее не волнует, будут ли ее темные причины и методы действия или нет доступны человеческим способностям; я полагаю, что то, что касается Естественных эффектов, которые либо открывает нашим глазам чувственный опыт, либо доказывают нам необходимые демонстрации, ни в коем случае не должно подвергаться сомнению, а тем более осуждаться на основании свидетельств Текстов Священного Писания, которые могут под своими словами скрывать чувства, по-видимому, противоречащие им ”.73

126. Тем временем его враги стали настолько активными, что Галилей счел за благо отправиться в Рим в конце 1615 года, чтобы защищать свое дело. В начале следующего года группа теологов, известных как Квалификаторы Святой канцелярии (инквизиции), которым было поручено изучить некоторые доктрины Коперника, сообщила:

“Что учение о том, что солнце было центром мира и неподвижно, было ложным и абсурдным, формально еретическим и противоречило Писанию, тогда как учение о том, что земля не была центром мира, но двигалась и продолжает двигаться ежедневно, было философски ложным и абсурдным и, по крайней мере, теологически ошибочным”.

В результате этого сообщения было решено осудить Галилея, и папа соответственно поручил кардиналу Беллармину “вызвать Галилея и убедить его отказаться от указанного мнения”, что кардинал и сделал.74 Сразу же после этого был издан указ, осуждающий рассматриваемые мнения и помещающий в хорошо известный *Указатель запрещенных книг* три книги, содержащие взгляды Копперника, из которых *De Revolutionibus* Копперника и еще одна были приостановлены только “до тех пор, пока они не будут исправлены”, в то время как третья была полностью запрещена. Необходимые исправления к *De Revolutionibus* были официально опубликованы в 1620 году и состояли лишь из нескольких изменений, которые имели тенденцию к тому, чтобы основные принципы книги выглядели как простые математические гипотезы, удобные для расчетов. Галилей, по-видимому, был в целом вполне удовлетворен результатом расследования, насколько это касалось его лично, и после получения от кардинала Беллармина свидетельства о том, что он не отрекался от своих убеждений и не каялся за них, остался в Риме на несколько месяцев, чтобы показать, что у него там хорошая репутация.

127. В течение следующих нескольких лет Галилей, которому сейчас было за пятьдесят, сильно страдал от слабого здоровья и был сравнительно неактивен. Однако он продолжал переписку с испанским двором о методе определения долготы в море с помощью спутников Юпитера. Существенная проблема при определении долготы состоит в том, чтобы получить время, указанное солнцем в требуемом месте, а также время в некотором месте, долгота которого известна. Если, например, полдень в Риме наступает на час раньше, чем в Лондоне, солнцу требуется час, чтобы пройти путь от меридиана Рима до меридиана Лондона, а долгота Рима находится на 15 ° восточнее долготы Лондона. В море легко установить местное время,*например,* наблюдая, когда солнце находится в наивысшей точке неба, но большая трудность, ощущавшаяся во времена Галилея и много позже (глава X., §§ 197, 226), заключалась в определении времени в каком-либо стандартном месте. Ни тогда, ни много позже нельзя было полагаться на часы для точного отсчета времени во время длительного океанского путешествия, и, соответственно, требовались какие-то астрономические средства определения времени. Идея Галилея заключалась в том, что если бы движения спутников Юпитера и, в частности, затмения, которые постоянно происходили, когда спутник входил в тень Юпитера, можно было предсказать, то можно было бы составить таблицу с указанием времени в соответствии с некоторым стандартным местом, скажем, Римом, в котором будут происходить затмения, и моряк, наблюдая местное время затмения и сравнивая его со временем, указанным в таблице, мог бы установить, насколько его долгота отличается от долготы Рима. Однако сомнительно, что в то время движение спутников Юпитера можно было предсказать достаточно точно, чтобы сделать этот метод практически полезным, и в любом случае переговоры ни к чему не привели.

В 1618 году появились три кометы, и вскоре Галилей был втянут в спор по этому поводу с иезуитом по имени Грасси. Спор был отмечен личной горечью, которая была обычной, и вскоре перерос в более масштабные вопросы философии и астрономии. Последний вклад Галилея в нее был опубликован в 1623 году под названием "*Il Saggiatore*" ("Пробирщик"), в котором, между прочим, рассматривалась теория Копперника, хотя и лишь косвенным образом, что было

необходимо в соответствии с эдиктом 1616 года. Например, в характерном отрывке Галилей говорит:

“Поскольку приписываемое земле движение, которое я, как набожный католик, считаю в высшей степени ложным и несуществующим, так хорошо подходит для объяснения стольких разных явлений, я не буду чувствовать себя уверенным ... что, каким бы ложным оно ни было, оно может не так обманчиво соответствовать явлениям комет”;

и снова, говоря о конкурирующих системах Копперника и Тихо, он говорит:—

“Тогда что касается гипотезы Коперника, то, если бы по счастливой случайности мы, католики, не были освобождены от заблуждений и наша слепота не была озарена Высшей Мудростью, я не верю, что такая благодать и удача могли быть получены с помощью доводов и наблюдений, приведенных Тихо”.

Хотя по научной значимости "*Саджиаторе*" стоит намного ниже многих других сочинений Галилея, у него была отличная репутация блестящего противоречивого произведения, и, несмотря на его тонко завуалированное копперниканство, новому папе Урбану VIII, которому оно было посвящено, оно так понравилось, что он велел читать его вслух за едой. Однако книга, должно быть, укрепила позиции врагов Галилея, и, вероятно, именно с целью противодействия их влиянию он отправился в Рим в следующем году, чтобы засвидетельствовать свое почтение Урбану и поздравить его с недавним возвышением. Визит был почти во всех отношениях успешным; Урбан дал ему несколько дружеских бесед, пообещал пенсию для его сына, преподнес ему несколько подарков и, наконец, отпустил его со специальным рекомендательным письмом к новому великому герцогу Тосканы, который проявлял некоторые признаки меньшего дружелюбия к Галилею, чем его отец. Однако, с другой стороны, папа отказался прислушаться к просьбе Галилея об отмене указа 1616 года.

128. Галилей теперь всерьез принялся за работу над великим астрономическим трактатом "*Диалог о двух главных системах Мира, Птолемеевой и копперниканской",* который он задумал еще в 1610 году и в котором он предлагал воплотить большую часть своей астрономической работы и собрать все доступные свидетельства, имеющие отношение к копперниканскому спору. Форма диалога была выбрана отчасти по литературным соображениям, и еще больше потому, что она позволяла ему устами некоторых ораторов излагать дело Копперникана так убедительно, как он хотел, не обязательно отождествляя свое собственное мнение с их. Рукопись была почти завершена в 1629 году, и в следующем году Галилей отправился в Рим, чтобы получить необходимую лицензию на ее печатание. Цензор внес некоторые изменения, а затем дал желаемое разрешение на печатание в Риме при условии, что книга будет представлена ему снова, прежде чем будет окончательно распечатана. Вскоре после возвращения Галилея во Флоренцию разразилась чума, и карантинные трудности сделали почти необходимым, чтобы книга была напечатана во Флоренции, а не в Риме. Для этого требовалось новое разрешение, и трудности, с которыми пришлось столкнуться при его получении, показали, что римский цензор все больше и больше сомневался в книге. В конечном счете, однако, введение и заключение были отправлены в Рим на утверждение и, вероятно, в какой-то степени переписаны там, а вся работа была одобрена флорентийским

цензором, книга была напечатана, и первые экземпляры были готовы в начале 1632 года с римской и флорентийской *подписью*.

129. Диалог длится четыре дня подряд и ведется тремя ораторами, из которых Сальвиати - копперниканец, а Симпличио - философ-аристотелианец, в то время как Сагредо открыто придерживается нейтралитета, но почти в каждом случае либо сразу соглашается с Сальвиати, либо легко поддается его убеждению и часто присоединяется к высмеиванию аргументов несчастного Симпличио. Хотя многие аргументы в настоящее время утратили свой непосредственный интерес, а книга получилась неоправданно длинной, она по-прежнему очень удобочитаема, а образцы схоластических рассуждений, вложенные в уста Симпличио, и опровержения их другими ораторами поражают современного читателя как превосходное развлечение.

Многие из используемых аргументов были опубликованы Галилеем в более ранних книгах, но приобретают впечатляющесть и убедительность благодаря тому, что они собраны и систематизированы. Аристотелевская догма о неизменности небесных тел еще раз подвергается критике и оказывается не только несовместимой с наблюдениями Луны, солнца, комет и новых звезд, но и в действительности неспособной быть изложенной в форме, свободной от неясностей и внутреннего противоречия. На доказательствах в пользу движения Земли, полученных из существования спутников Юпитера инесомненных фаз Венеры, предполагаемых фаз Меркурия и изменений видимых размеров Марса, снова настаивают. Большая простота копперниковского объяснения суточного движения небесной сферы и движения планет убедительно доказывается и подробно иллюстрируется. Отмечается, что согласно гипотезе Копперника, все вращательные движения происходят в одном направлении (с запада на восток), тогда как гипотеза Птолемея требует, чтобы некоторые движения были в одном направлении, некоторые - в другом. Более того, кажущееся суточным движение звезд, которое кажется достаточно простым, если звезды рассматривать как жестко прикрепленные к материальной сфере, проявляется в совершенно ином аспекте, если, как признает даже Симпличио, такой сферы не существует и каждая звезда движется в некотором смысле независимо. Тогда следует предположить, что звезда вблизи полюса движется гораздо медленнее, чем звезда вблизи экватора, поскольку за то же время она описывает гораздо меньший круг; и далее — аргумент, очень характерный для изобретательности Галилея в выводах из известных фактов — из-за прецессии равноденствий (глава II, § 42, и IV, § 84) и последующего изменения положения полюса среди звезд, некоторые из тех звезд, которые во времена Птолемея описывали очень маленькие круги и, следовательно, двигались медленно, теперь должны описывать большие на большей скорости, и*наоборот*. Следовательно, чрезвычайно сложная корректировка движений становится необходимой для объяснения наблюдений, которые Копперник адекватно объяснил вращением земли и простым смещением ее оси вращения.

Сальвиати также рассматривает постоянную трудность, заключающуюся в том, что годовое движение земли должно вызывать соответствующее видимое движение звезд, и что если предположить, что звезды находятся на таком расстоянии, что это движение незаметно, то некоторые из самих звезд должны быть по меньшей мере такими же большими, как орбита земли вокруг Солнца. Сальвиати указывает, что видимые или угловые величины неподвижных звезд, которые, по общему признанию, трудно определить, на самом деле почти полностью иллюзорны, поскольку в значительной степени обусловлены оптическим эффектом, известным

как **излучение**, в силу которого яркий объект всегда имеет тенденцию казаться увеличенным;[75] и, следовательно, нет оснований предполагать, что звезды почти такие большие, какими их можно было бы считать в противном случае. Предполагается также, что наиболее многообещающим способом обнаружения годового движения звезд, возникающего в результате движения Земли, было бы наблюдение относительного смещения двух звезд близко друг к другу на небе (и, следовательно, почти в одном направлении), из которых можно предположить, что одна из них из-за своей большей яркости находится ближе, чем другая. Например, очевидно, что если на рисунке E, E' обозначают два положения Земли на ее пути вокруг Солнца, а A, B - две звезды на разных расстояниях, но почти в одном направлении, то наблюдателю в точке E звезда A кажется слева от B, тогда как шесть месяцев спустя, когда наблюдатель находится в точке E', A кажется справа от B. Такое движение одной звезды относительно другой, близкой к ней, было бы гораздо легче наблюдать, чем изменение на ту же величину расстояния до звезды от некоторой стандартной точки, такой как полюс. Сальвиати указывает, что точных наблюдений такого рода сделано не было и что телескоп мог бы помочь для этой цели. Этот метод, известный как **метод двойной звезды** или **дифференциальный метод параллакса**, фактически был первым, который привел - два столетия спустя — к успешному обнаружению рассматриваемого движения (глава XIII, § 278).

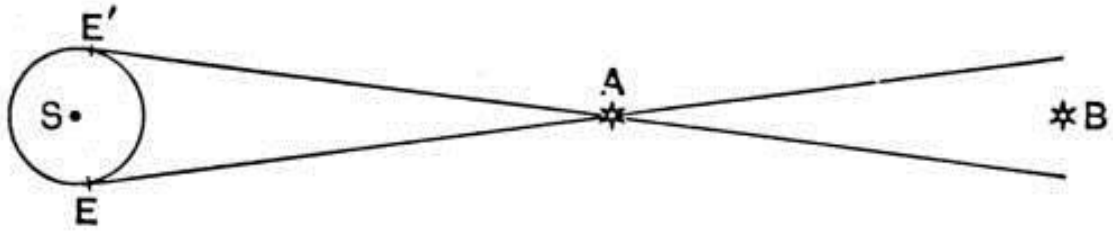


Рис. 57.—Дифференциальный метод определения параллакса.

130. В *Диалоге* раскрывается совершенно новая основа, когда открытия Галилеем законов движения тел применяются к проблеме движения Земли. Его великим открытием, пролившим совершенно новый свет на механику солнечной системы, был, по существу, закон, впоследствии данный Ньютоном в качестве первого из трех его законов движения в форме: *Каждое тело продолжает находиться в состоянии покоя или равномерного движения по прямой, за исключением случаев, когда оно вынуждено силой, приложенной к нему, изменить это состояние.* Оставляя пока в стороне любое обсуждение *силы*, концепции, впервые по-настоящему определенной Ньютоном и лишь несовершенно понятой Галилеем, мы можем интерпретировать этот закон как означающий, что телу присуща тенденция уменьшать свое движение или останавливаться не больше, чем увеличивать свое движение или начинаться, и что любое изменение скорости или направления движения тела должно быть объяснено действием на него какого-либо другого тела или, во всяком случае, какой-либо другой определяемой причиной. Так, камень, брошенный на дороге, останавливается из-за трения между ним и землей, мяч, подброшенный в воздух, поднимается все медленнее и затем падает на землю из-за того притяжения земли к нему, которое мы называем его весом. Поскольку невозможно полностью изолировать тело от всех других, мы не можем экспериментально осознать состояние вещей, при котором тело продолжает двигаться бесконечно в одном и том же направлении и с одной и той же скоростью; однако можно показать, что чем больше мы

удаляем тело из-под влияния других, тем меньше изменений происходит в его движении. Следовательно, закон, как и большинство научных законов, является абстракцией, относящейся к состоянию вещей, к которому мы можем приблизиться в природе. Галилей излагает идею в Диалоге с помощью шара на гладкой наклонной плоскости. Если мяч направлен вверх, его движение постепенно замедляется; если вниз, то оно постоянно ускоряется. Это верно, если плоскость достаточно гладкая — как хорошо выструганная доска — и наклон плоскости не очень мал. Если мы представим себе эксперимент, проведенный на идеальной плоскости, которая считается *идеально* гладкой, мы должны ожидать тех же результатов, каким бы малым ни был наклон плоскости. Следовательно, если бы плоскость была совершенно ровной, так что не было бы различия между подъемом и спуском, мы должны были бы ожидать, что движение не будет ни замедленным, ни ускоренным, а продолжится без изменений. Также приводятся другие, более знакомые примеры тенденции тела, однажды пришедшего в движение, продолжать движение, как в случае всадника, чья лошадь внезапно останавливается, или тел в каюте движущегося корабля, которые не имеют тенденции терять движение, сообщаемое им кораблем, так что, *например*, тело падает вниз, по всей видимости, точно так же, как если бы остальная часть каюты находилась в состоянии покоя, и поэтому в действительности при падении сохраняет поступательное движение, которое оно разделяет с кораблем и его содержимым. Сальвиати утверждает также, что — вопреки общему мнению — камень, сброшенный с верхушки мачты движущегося корабля, падает у подножия мачты, а не позади нее, но нет никаких ссылок на то, что эксперимент действительно проводился.

После установления этого механического принципа становится легко разобраться с несколькими распространенными возражениями против предполагаемого движения земли. Легко показать, что случай с камнем, сброшенным с вершины башни, который, если земля в действительности быстро движется с запада на восток, при своем падении должен падать на запад, в точности параллелен случаю с камнем, сброшенным с топа мачты находящегося в движении корабля. Движение на восток, которое камень, лежащий на башне, разделяет с башней и землей, не разрушается при его падении, и поэтому это полностью соответствует теории Копперника о том, что камень должен падать так, как он падает у подножия башни.76 Аналогичным образом, тот факт, что облака, атмосфера в целом, летающие в ней птицы и незакрепленные предметы на поверхности земли не проявляют тенденции оставаться позади, когда земля быстро движется на восток, но, по-видимому, не подвержены влиянию движения земли, показан как точно параллельный. к тому факту, что равномерное поступательное движение судна никоим образом не влияет на мух в каюте судна и незакрепленные предметы там (хотя нерегулярные колебания качки и кренения действительно влияют на них). Обычное возражение, что пушечное ядро, выпущенное на запад, должно, согласно гипотезе Копперника, разноситься дальше, чем на один выстрел на восток при аналогичных условиях, удовлетворяется таким же образом; но далее указывается, что из-за несовершенства артиллерийской практики эксперимент не мог быть проведен достаточно точно, чтобы дать какой-либо решающий результат.

Самой неудовлетворительной частью*Диалога* является обсуждение на четвертый день приливов и отливов, которым Галилей с большой уверенностью предлагает объяснение, основанное просто на движении земли, в то же время с презрением отвергая предположение Кеплера и других — верное, насколько это возможно, — что они были вызваны каким-то влиянием, исходящим от Луны. Вряд ли стоит удивляться тому, что рудиментарные механические и математические знания, которыми располагал Галилей, не позволили ему

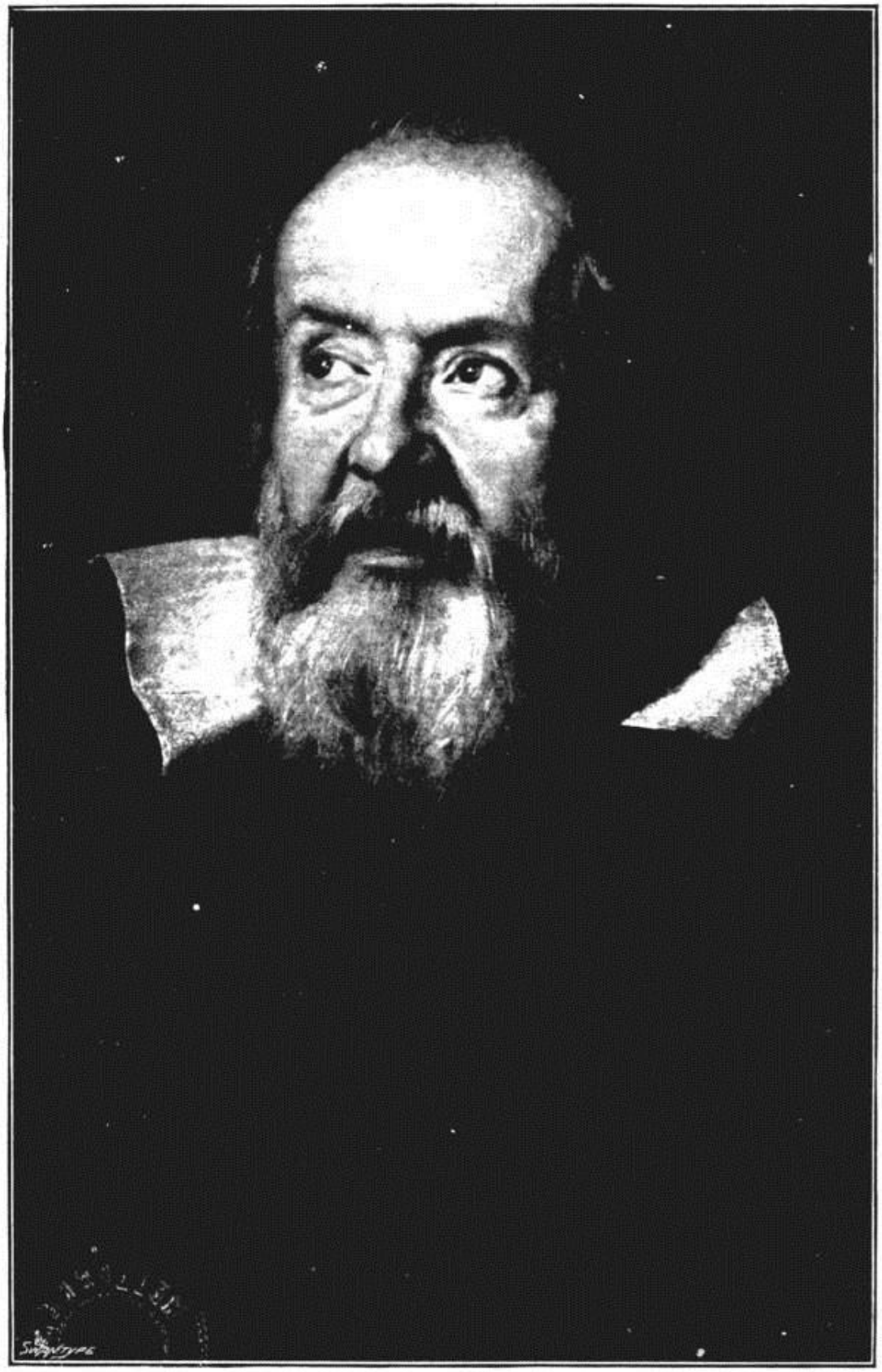
правильно решить проблему, для которой значительно более мощные ресурсы современной науки могут дать лишь несовершенное решение (ср. главу XI, § 248, и главу XIII, § 292).

131. Книга в целом была по сути, хотя и не по форме, мощным — действительно неопровержимым — призывом к коперниканству. Галилей пытался отстоять свою позицию, частично используя диалог, а частично весьма примечательное вступление, которое было не только прочитано и одобрено разрешительными органами, но и, по всей вероятности, частично составлено римским цензором и папой римским. Это читается нам как тщательно продуманная и тонко завуалированная ирония, и это проливает любопытный свет на интеллект или серьезность папы и цензора, которые должны были так одобрить это:

“Рассудительный читатель, несколько лет назад в *Риме* был опубликован благотворный Эдикт, который, во избежание опасных скандалов нынешнего Века, налагал разумное молчание на мнение пифагорейцев о подвижности Земли. Не найдется недостатка в таких, кто опрометчиво заявит, что Указ был вызван не трезвым анализом, а осознанной страстью; и можно услышать шепот о том, что Консультантам, совершенно несведущим в астрономических наблюдениях, не следовало бы подрезать крылья спекулятивным умам опрометчивыми запретами. Мой зил не может молчать, когда я слышу эти бесцеремонные жалобы. Я счел нужным, будучи хорошо знаком с этим благоразумным Решением, открыто выступить на Мировой арене в качестве Свидетеля голой Правды. В то время я находился в *Риме* и удостоился не только аудиенции, но и аплодисментов самых выдающихся прелатов этого Двора; и этот Указ не был опубликован без предварительного уведомления меня об этом. Поэтому мое решение в данном случае состоит в том, чтобы дать иностранным нациям увидеть, что в *Италии*, и особенно в *Риме*, этот пункт понимают настолько хорошо, насколько это может себе представить трансальпийское усердие: и собрать воедино все надлежащие рассуждения, касающиеся*Системы Коперника,* чтобы сообщить им, что всеобщее уведомление предшествовало осуждению *Римского двора*; и что из этого Климата исходят не только Доктрины для здоровья Души, но и гениальные открытия для воссоздания Разума. .... Я надеюсь, что благодаря этим соображениям мир поймет, что если другие нации путешествовали больше, чем мы, то мы изучали не меньше, чем они; и что наше возвращение, чтобы утвердить стабильность Земли и принять обратное только за математическое*каприччио*, проистекает не из непреднамеренности того, что думали об этом другие, а (если бы у нас не было других побуждений), из тех причин, которые диктуют нам благочестие, Религия, Знание Божественного Всемогущества и сознание неспособности человеческого понимания ”.77

132. Естественно, многочисленные враги Галилея не заставили себя долго ждать, разгадав эту тонкую маскировку, и огромный успех книги только усилил оппозицию, которую она вызвала; папа, по-видимому, был убежден, что Симпличио — заглавие всего диалога — предназначалось ему самому, предполагаемое оскорбление, которое горько ранило его тщеславие; и вскоре стало очевидно, что публикация книги не могла остаться незамеченной. В июне 1632 года была назначена специальная комиссия для расследования этого дела — необычная процедура, вероятно, задуманная как знак уважения к Галилею, — и два месяца спустя дальнейшая выдача экземпляров книги была запрещена, а в сентябре был издан папский мандат, требующий, чтобы Галилей лично предстал перед инквизицией. Он был явно напуган вызовом и пытался

уклониться от согласия с помощью добрых услуг тосканского двора и ссылаясь на свой возраст и немощи, но после значительной задержки, в конце которой папа издал инструкции привести его, если необходимо, силой и в цепях, ему пришлось подчиниться и отправиться в Рим в начале 1633 года. Здесь к нему относились с необычным вниманием, поскольку, в то время как обычно даже самые выдающиеся преступники, находящиеся под судом инквизиции, содержались в ее тюрьмах, ему разрешили жить со своим другом Никколини, тосканским послом, на протяжении всего процесса, за исключением периода около трех недель, которые он провел в зданиях инквизиции, в комфортабельных комнатах, принадлежащих одному из чиновников, с разрешением переписываться со своими друзьями, гулять в саду и другими привилегиями. На его первом слушании в инквизиции его ответом на обвинение в нарушении указа 1616 года (§ 126) было то, что он не понимал, что данный ему указ или предостережение запрещали преподавать теорию Коперника как простую “гипотезу”, и что его книга не подтверждала доктрину каким-либо другим способом. Между его первым и вторым слушанием Комиссия, изучавшая его книгу, сообщила, что в ней действительно отчетливо защищались и поддерживались отвратительные доктрины, и Галилей, которому генеральный комиссар инквизиции тем временем конфиденциально посоветовал занять более покорную позицию, признал на следующем слушании, что, перечитав свою книгу, он осознал, что некоторые ее части приводят аргументы в пользу коперниканства более убедительно, чем он думал вначале. Плачевное состояние, до которого он был доведен, было продемонстрировано сделанным им теперь предложением написать продолжение Диалога, которое должно было, насколько это возможно, опровергнуть его собственные коперниканские аргументы. На последнем слушании 21 июня он был допрошен под угрозой пыток,78 и на следующий день ему был вынесен приговор. Он был осужден “за веру и соблюдение доктрин — ложных и противоречащих Священным и Божественным Писаниям — о том, что солнце является центром мира, и что оно не движется с востока на запад, и что земля действительно движется, но не является центром мира; также что мнения можно придерживаться и поддерживать как вероятного после того, как оно было объявлено и постановлено противоречащим Священным Писаниям”. В наказание от него потребовали “отречься, проклинать и возненавидеть вышеупомянутые ошибки”, причем отречение было немедленно прочитано им на коленях; и далее он был приговорен к “официальной тюрьме Святой Канцелярии” на потеху своим судьям и обязан был повторять семь покаянных псалмов раз в неделю в течение трех лет. На следующий день папа заменил тюремное заключение заключением в загородном доме близ Рима, принадлежащем великому герцогу, и Галилей переехал туда 24 июня.79 После прошения о разрешении вернуться во Флоренцию ему сначала разрешили поехать до Сиены, а в конце года разрешили удалиться в свой загородный дом в Арчетри близ Флоренции при условии, что в будущем он не будет покидать его без разрешения, при этом за его общением с учеными и другими друзьями ревниво следили.



GALILEI.

[*Лицом к лицу, стр. 171*.

История судебного процесса не ставит в заслугу ни Галилея, ни его преследователей. Что касается последних, то можно утверждать, что они действовали с необычной снисходительностью, учитывая обычаи того времени; и вполне вероятно, что многие из тех, кто участвовал в судебном процессе, стремились причинить Галилею как можно меньше вреда, но были практически вынуждены лично враждебной ему стороной обратить внимание на очевидное нарушение указа 1616 года. Легко осуждать Галилея за трусость, но следует иметь в виду, с одной стороны, что в то время ему было почти семьдесят, и здоровье его сильно пошатнулось, а с другой, что римская инквизиция, пусть и не такая жестокая, как испанская, была вполне реальной силой в начале 17 века; при жизни Галилея (1600 г.) Джордано Бруно был сожжен заживо в Риме за сочинения, которые, помимо содержания религиозных и политических ересей, поддерживали астрономию Коперника и выступали против традиционной философии Аристотеля. Более того, было бы несправедливо рассматривать его подчинение исключительно из соображений личной безопасности, поскольку — помимо вопроса, выиграла бы что—нибудь его любимая наука от его смерти или постоянного заключения - не может быть сомнений в том, что Галилей был совершенно искренним членом своей Церкви, и хотя он делал все возможное, чтобы убедить отдельных должностных лиц Церкви в правильности своих взглядов и свести к минимуму их осуждение, вынесенное в 1616 году, все же он, вероятно, был готов, когда обнаружил, что осуждение серьезно подразумевалось Папой, Святой Канцелярией и другими, поверить, что по крайней мере в некотором смысле его взгляды должно быть, это было неправильно, хотя с точки зрения наблюдения и чистого разума он не мог понять, как и почему. На самом деле, как и многие другие замечательные люди, он хранил в своем сознании герметичные ячейки, в одной из которых было уважение к Церкви, а в другой - научные исследования.

Копии приговора Галилею и его отречения от престола были немедленно распространены в Италии и в других римско-католических кругах, а также был издан указ Конгрегации Указателей, добавляющий *Диалог* к трем книгам Коперника, осужденным в 1616 году, и к *"Воплощению* астрономии Коперника" Кеплера (глава VII., § 145), который вскоре после этого был внесен в *Указатель*. Может быть интересно отметить, что эти пять книг все еще оставались в издании *Индекса запрещенных книг*, которое было выпущено в 1819 году (с приложениями, датированными еще 1821 годом), но исчезли из следующего издания, 1835 года.

133. Остальную часть жизни Галилея можно описать очень кратко. За исключением нескольких месяцев, в течение которых ему было разрешено находиться во Флоренции для лечения, он постоянно оставался в Арчетри, очевидно, под довольно пристальным наблюдением агентов Святой Канцелярии, сильно ограниченный в общении со своими друзьями и лишенный возможности продолжать учебу в тех направлениях, которые ему больше всего нравились. Кроме того, он был очень немощен и страдал от домашних неурядиц, особенно после смерти в 1634 году его любимой дочери, монахини из соседнего монастыря. Но его дух не был сломлен, и он продолжил несколько важных этапов работы, которые начал ранее в своей карьере. Он немного продвинулся в изучении своих любимых планет Медичи и метода определения долготы на основе их движения (§ 127) и провел переговоры по этому вопросу с правительством

Нидерландов. Он сделал также еще одно открытие, связанное с Луной, достаточно важное, чтобы заслуживать нескольких слов пояснения.

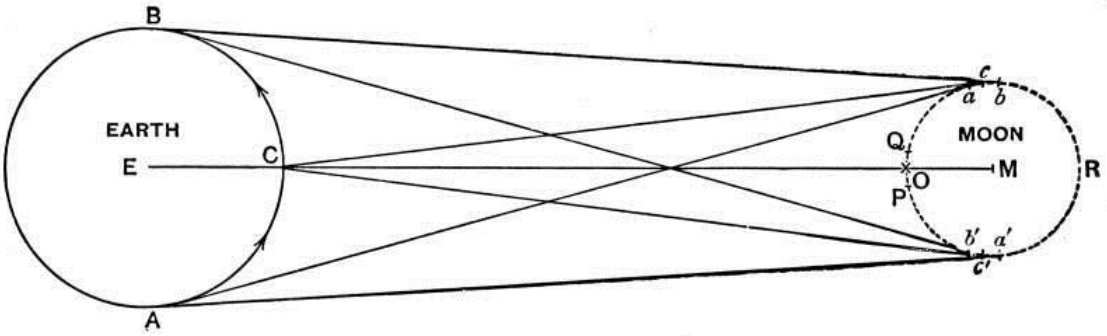


Рис. 58.Суточное вращение Луны.

Давно было хорошо известно, что по мере того, как луна описывает свой месячный путь вокруг Земли, мы видим одни и те же отметки, по существу, в одних и тех же положениях на диске, так что, по существу, одно и то же лицо Луны обращено к земле. Галилею пришло в голову поинтересоваться, действительно ли это так, или, напротив, можно наблюдать какое-то изменение в лунном диске. Он увидел, что если, как казалось вероятным, линия, соединяющая центры земли и Луны, всегда проходит через одну и ту же точку на поверхности Луны, то, тем не менее, определенные изменения в положении наблюдателя на земле позволили бы ему время от времени видеть разные участки поверхности Луны. Простейшее из этих изменений связано с ежедневным движением Земли. Предположим для простоты, что наблюдатель находится на экваторе Земли, а Луна в это время находится на небесном экваторе. Пусть больший круг на рис. 58 представляет экватор Земли, а меньший круг - сечение Луны плоскостью экватора. Затем примерно через 12 часов вращение земли переносит наблюдателя из пункта А, где он видит восход Луны, в пункт Б, где он видит ее заход. Когда он находится в точке С, на линии, соединяющей центры земли и Луны, точка О, по-видимому, находится в центре лунного диска, а часть *c* O *c′* is visible, *c* R *c′*, не видна. Но когда наблюдатель находится в точке А, точка Р, расположенная справа от О, появляется в центре, и часть *a* P *a′* видна, так что *c′a′* теперь видна, а *a c* невидима. Точно так же, когда наблюдатель находится в точке В, он может видеть часть *c*, в то время как *b′c′* невидима, а Q, по-видимому, находится в центре диска. Таким образом, в течение дня часть *a* O *b′* (dotted in the figure) is constantly visible and *b* R *a′* (also dotted) constantly invisible, while *a c b* and *a′ c′ b*" поочередно появляются в поле зрения и исчезают. Другими словами, когда луна восходит, мы видим немного больше той стороны, которая в то время находится самой верхней, а когда она садится, мы видим немного больше другой стороны, которая находится самой верхней в этом положении. Аналогичное объяснение применимо, когда наблюдатель находится не на экваторе земли, но геометрия немного сложнее. Точно так же, когда луна проходит с юга на север от экватора и обратно, вращаясь вокруг земли, мы видим попеременно больше и меньше северной и южной половины Луны. Этот набор изменений — простейший из нескольких несколько похожих, которые теперь известны как **либрации** Луны, — таким образом, считался вероятным, и Галилей приступил к работе, чтобы проверить их существование, наблюдая определенные отметины на Луне, обычно видимые вблизи края, и сразу же обнаружил изменения в их расстоянии от края, которые в целом соответствовали его теоретическим предположениям. Однако более точное расследование было прервано ухудшением зрения, кульминацией которого (в конце 1636 года) стала полная слепота.

Но самой важной работой этих лет было завершение великой книги, в которой он суммировал и завершил свои открытия в механике, *математические рассуждения и демонстрации, касающиеся двух новых наук, относящихся к механике и локальному движению*. Она была написана в форме диалога между теми же тремя ораторами, которые фигурировали в Диалоге о Системах, но по литературным достоинствам явно уступает более ранней работе. Нас здесь не интересует большая часть книги, посвященная условиям, при которых тела находятся в состоянии покоя за счет приложенных к ним сил (статика), и некоторым проблемам, связанным с сопротивлением тел разрушению и изгибу, хотя в обеих этих областях Галилей открыл новые горизонты. Более важным с астрономической точки зрения — и, вероятно, внутренне также — является то, что он называет наукой о локальном движении,80 которая занимается движением тел. Он строит на основе своих ранних экспериментов (§ 116) теорию падающих тел, в которой впервые возникает важная идея **равномерно ускоренного движения**, или **равномерного ускорения**, *т.е.* движения, при котором движущееся тело получает за каждый равный промежуток времени равное увеличение скорости. Он показывает, что движение падающего тела — за исключением того, что ему мешает воздух, — имеет такую природу, и что, как уже говорилось, движение одинаково для всех тел, хотя его численная оценка совсем не точна.81 Из этого фундаментального закона он выводит ряд математических выводов, связывающих пройденное пространство, скорость и прошедшее время, как для случая тела, падающего свободно, так и для тела, падающего по наклонной плоскости. Он дает также правильную элементарную теорию снарядов, в ходе которой он излагает более полно, чем раньше, уже упомянутый закон инерции (§ 130), хотя форма Галилея все еще гораздо менее общая, чем у Ньютона:—

Представьте себе тело, проецируемое или брошенное вдоль горизонтальной плоскости, при этом все препятствия устранены. Теперь ясно из того, что мы подробно говорили ранее, что его движение будет равномерным и постоянным вдоль указанной плоскости, если плоскость будет простираться бесконечно.

В связи со снарядами Галилей также, по-видимому, понимает, что тело можно рассматривать как движущееся в двух разных направлениях одновременно и что каждое из них можно рассматривать как независимое от другого, так что, например, если пулю выпускают горизонтально из ружья, ее движение вниз из-за ее веса не зависит от ее горизонтального движения, и, следовательно, она достигает земли одновременно с тем, как пуле просто дают упасть; но Галилей не дает общего изложения этого принципа, который впоследствии был воплощен Ньютоном в его Втором законе движения.

Трактат о*двух новых науках* был закончен в 1636 году, и, поскольку ни одна книга Галилея не могла быть напечатана в Италии, он был опубликован с небольшой задержкой в Лейдене в 1638 году. В том же году его зрение, которое он в некоторой степени восстановил после первого приступа слепоты, полностью ухудшилось, и четыре года спустя (8 января 1642 года) ему пришел конец.

134. Главные научные открытия Галилея уже были замечены. Телескопические открытия, на которых во многом зиждется его популярная репутация, вероятно, привлекли к себе больше внимания, чем следовало; многие из них были сделаны почти одновременно другими, а остальные, будучи почти неизбежными результатами изобретения телескопа, не могли быть отложены надолго. Но умелое использование их Галилеем в качестве аргументов в пользу

системы Коперника, не менее важная поддержка, которую его динамические открытия оказали тому же делу, ясность и диалектический блеск, с которыми он выстраивал аргументы в пользу своих взглядов и опровергал аргументы своих оппонентов, вместе с сенсационными случаями его преследования, в совокупности составили вклад в спор о Копернике, который, по сути, стал решающим. Учебники астрономии все еще продолжали давать параллельные описания систем Птолемея и Коперника, и авторы, во всяком случае, если они были добрыми католиками, обычно выражали каким-либо более или менее формальным образом свою приверженность первой, но в традиционной астрономии не осталось реальной жизни; все новые достижения в астрономической теории были основаны на принципах Коперника, и в обширной научной переписке Ньютона и его современников истинность системы Коперника почти никогда не фигурирует в качестве предмета для обсуждения.

Динамические открытия Галилея, которые лишь частично имеют астрономическое значение, во многих отношениях являются его самым замечательным вкладом в науку. Ибо, в то время как в астрономии он строил на фундаменте, заложенном предыдущими поколениями, в динамике речь шла не об улучшении или развитии существующей науки, а о создании новой. От своих предшественников он не унаследовал ничего, кроме ошибочных традиций и неясных идей; и когда они были отброшены, ему пришлось прийти к ясным фундаментальным понятиям, разрабатывать эксперименты и проводить наблюдения, интерпретировать свои экспериментальные результаты и следовать математическим следствиям простых законов, к которым он пришел первым. Полученные положительные результаты могут показаться немногочисленными, если рассматривать их с точки зрения наших современных знаний, но их было достаточно, чтобы создать надежную основу для надстройки, которую добавили более поздние исследователи.

Принято связывать с нашим соотечественником Фрэнсисом Бэконом (1561-1627) реформу методов научных открытий, которая произошла в семнадцатом веке и которой следует приписать большую часть быстрого прогресса в естественных науках, достигнутого с тех пор. Ценность теории научных открытий Бэкона очень по-разному оценивается разными критиками, но не может быть и речи о том, что его попытки применить ее в конкретных случаях были исключительно безуспешными, и можно справедливо усомниться в том, что научные методы, на которые постоянно ссылается Галилей и которые блестяще иллюстрирует его практика, на самом деле не содержат значительной части того ценного, что есть в бэконовской философии науки, в то же время избегая некоторых из ее ошибок. Уже несколько раз упоминались протесты Галилея против нынешнего метода решения научных вопросов путем интерпретации отрывков из Аристотеля, Птолемея или других авторов; и его постоянное настаивание на необходимости апеллировать непосредственно к реальному наблюдению фактов. Но, соглашаясь таким образом с Бэконом в этих существенных пунктах, он отличался от него признанием важности как вывода новых результатов из установленных с помощью математических или других процессов точного рассуждения, так и использования таких выводов при сравнении со свежими экспериментальными результатами в качестве средства проверки предварительно принятых гипотез. Этот метод доказательства, лежащий в основе почти всех важных научных открытий, вряд ли может быть описан лучше, чем собственным утверждением Галилея о нем применительно к конкретному случаю:

“Поэтому давайте примем это сейчас за *постулат*, истина которого будет установлена впоследствии, когда мы увидим другие выводы, построенные на этой *гипотезе*, которые будут отвечать Опыту и наиболее точно согласуются с ним”.82

ГЛАВА VII.
КЕПЛЕР.

“Его знаменитые законы были результатом целой жизни спекуляций, по большей части тщетных и беспочвенных.... Но имени Кеплера было суждено стать бессмертным благодаря терпению, с которым он сравнивал свои гипотезы с наблюдениями, искренности, с которой он признавал неудачу за неудачей, и настойчивости и изобретательности, с которыми он возобновлял свою атаку на загадки природы ”.

Джевонс.

135. Джон Кеплер, или Кепплер,83 года родился в 1571 году, через семь лет после Галилея, в Вайле в Вюртемберге; его родители были в стесненных обстоятельствах, хотя его отец претендовал на благородное происхождение. Хотя сам Вейль был преимущественно римско-католическим, кеплеры были протестантами, и этот факт часто вставал на пути Кеплера на различных этапах его карьеры. Но отец ни в коем случае не мог быть ревностным в своей вере, поскольку он завербовался в армию печально известного герцога Альвы, когда она пыталась подавить восстание Нидерландов против испанских преследований.

Детство Джона Кеплера было отмечено большим, чем обычно, количеством болезней, и его телесная слабость в сочетании с обещанием больших интеллектуальных способностей, казалось, указывали на Церковь как на подходящую для него карьеру. После нерегулярного посещения различных начальных школ — отчасти из-за плохого состояния здоровья, отчасти из—за необходимости выполнять ручную работу дома - в 1584 году он был отправлен за государственный счет в монастырскую школу в Адельберге, а два года спустя в более продвинутую школу или колледж того же типа в Маульбронне, который был связан с Тюбингенским университетом, в то время одним из крупнейших центров протестантского богословия.

В 1588 году он получил степень бакалавра, а в следующем году поступил на философский факультет в Тюбингене.

Там он попал под влияние Маэстлина, профессора математики, который в частном порядке обучал его принципам системы Копперника, хотя профессорские лекции по-прежнему велись в традиционном русле.

В 1591 году Кеплер получил степень магистра, заняв второе место из четырнадцати кандидатов, а затем посвятил себя главным образом изучению теологии.

136. Однако в 1594 году протестантские поместья Штирии обратились в Тюбинген с просьбой назначить преподавателя математики (включая астрономию) для средней школы Граца, и это

назначение было предложено Кеплеру. Не имея специальных знаний в этом предмете и пока еще не испытывая к нему вкуса, он, естественно, колебался, стоит ли принимать предложение, но в конце концов решил сделать это, недвусмысленно оговорив, однако, что тем самым он не должен отказываться от своих притязаний на церковные привилегии в Вюртемберге. Спрос на высшую математику в Граце, по-видимому, был незначительным; в течение первого года обучения математические лекции Кеплера посещало очень мало студентов, а в следующем году их вообще не было, так что, чтобы не тратить впустую свою зарплату, ему поручили преподавать элементы различных других предметов. Более того, одной из его обязанностей было составлять ежегодный альманах или календарь, который, как ожидалось, должен был содержать не только обычнуюэлементарную астрономическую информацию, к которой мы привыкли в современных календарях, но и астрологическую информацию более интересного характера, такую как предсказания погоды и замечательных событий, указания относительно неудачных и удачливых времен и тому подобное. Первый календарь Кеплера на 1595 год содержал несколько счастливых погодных пророчеств, и, соответственно, он приобрел значительную популярность как пророк и астролог, которая сохранялась на протяжении всей его жизни.

Между тем его служебные обязанности, очевидно, оставляли ему много свободного времени, которое он тратил со свойственной ему энергией на приобретение как можно более основательных знаний по астрономии и размышления на эту тему.

Согласно его собственному заявлению, “в частности, были три вещи, *а именно*. число, размер и движение небесных тел, относительно которых он усердно искал причины, почему они были такими, какие они были, а не иначе”; и результаты долгого хода безумных размышлений на эту тему привели его, наконец, к результату, которым он был безмерно доволен — числовому соотношению, связывающему расстояния нескольких планет от солнца с определенными геометрическими телами, известными как правильные твердые тела (из которых куб наиболее известен), соотношению, которое не очень точно в числовом отношении и не имеет абсолютно никакого значения.84 Это открытие вместе с подробным описанием шагов, которые привели к нему, а также ряда других шагов, которые никуда не вели, было опубликовано в 1596 году в книге, часть названия которой можно перевести как *"Предтеча диссертаций о Вселенной", содержащей тайну Вселенной*, обычно называемую *Mysterium Cosmographicum*. Содержание, вероятно, было гораздо привлекательнее и казалось более ценным современникам Кеплера, чем нам, но даже для тех, кто меньше всего был склонен придавать значение его выводам, книга свидетельствовала о значительных астрономических знаниях и очень большой изобретательности; и как Тихо Браге, так и Галилей, которым были разосланы копии, признали в авторе подающего надежды астронома, способного проделать хорошую работу.

137. В 1597 году Кеплер женился. В следующем году религиозные волнения, которые в течение нескольких лет неуклонно нарастали, были усилены действиями эрцгерцога Австрийского Фердинанда (впоследствии императора Фердинанда II), который по возвращении из паломничества в Лоретто начал энергичное преследование протестантов в своих владениях, одним из шагов в котором был приказ о том, чтобы все протестантские министры и учителя в Штирии немедленно покинули страну (1598). Соответственно, Кеплер бежал в Венгрию, но вернулся через несколько недель по специальному разрешению эрцгерцога, данному, очевидно, по совету партии иезуитов, которые надеялись обратить астронома в свою веру. Однако слушатели Кеплера в основном были рассеяны из-за преследований, стало трудно обеспечивать регулярную выплату его стипендии, а растущая волна католицизма делала его

положение все более ненадежным. Соответственно, предложения Тихо были одобрены, и в 1600 году он нанес ему визит, как уже описано (глава V, § 108), в Бенатеке и Праге. Осенью он вернулся в Грац, все еще не уверенный, принимать предложение Тихо или нет, но после того, как его окончательно уволили со своей должности в Граце из-за его протестантских взглядов, он, наконец, вернулся в Прагу в конце года.

138. Вскоре после смерти Тихо Кеплера его преемником на посту математика при императоре Рудольфе (1602) был назначен Кеплер, но получал лишь половину жалованья своего предшественника, и даже это жалованье выплачивалось с большой нерегулярностью, так что жалобы на долги и постоянные денежные трудности сыграли важную роль в его будущей жизни, как это было в последующие годы в Граце.Инструменты Тихо так и не перешли в его владение, но поскольку у него было мало вкуса или навыков в наблюдениях, потеря, вероятно, была невелика; к счастью, после некоторых трудностей с наследниками он получил контроль над большей частью несравненной серии наблюдений Тихо, переработка которых в улучшенную теорию Солнечной системы была основным занятием следующих 25 лет его жизни. Однако, прежде чем он добился какого—либо существенного результата в этом направлении, он опубликовал несколько второстепенных работ - например, две брошюры о новой звезде, появившиеся в 1604 году, и трактат о приложениях оптики к астрономии (опубликован в 1604 году под названием, начинающимся с*Ad Vitellionem Paralipomena quibus Astronomiae Pars Optica Traditur* ...), наиболее интересной и важной частью которого было значительное улучшение теории астрономической рефракции (глава II., § 46, и глава V., § 110). Более поздний оптический трактат (*диоптрия* 1611 г.) содержал предложение о конструкции телескопа с использованием двух выпуклых линз, форма которых в настоящее время наиболее распространена и является заметным усовершенствованием инструмента Галилея (глава VI., § 118), одна из линз которого вогнутая; но сам Кеплер, по-видимому, не обладал достаточными механическими навыками, чтобы действительно сконструировать телескоп по этому плану, или имел доступ к рабочим, способным сделать это за него; и вполне вероятно, что у Галилея не было возможности сконструировать телескоп по этому плану. враг Шайнер (глава VI.,§§ 124, 125) был первым человеком, использовавшим (около 1613 г.) инструмент такого рода.

КЕПЛЕР.

[*Лицом к лицу, стр. 183.*

139. Уже упоминалось (глава V., § 108), что, когда Тихо распределял работу своей обсерватории между своими помощниками, он поручил Кеплеру изучение планеты Марс, вероятно, как представляющее больше трудностей, чем предметы, порученные другим. Со времен Копперника было известно, что планеты, включая Землю, вращаются вокругСолнца по

траекториям, которые, во всяком случае, не сильно отличаются от окружностей, и что отклонения от равномерного кругового движения можно приблизительно представить системами эксцентриситетов и эпициклов. Однако отклонения от равномерного кругового движения были заметно различны по величине на разных планетах, будучи, например, очень малыми в случае Венеры, относительно большими в случае Марса и еще большими в случае Меркурия. Вскоре было обнаружено, что*таблицы Прусса,* рассчитанные Рейнхольдом на основе метода Копперника (глава V., § 94), отражают фактические движения очень несовершенно, ошибки в 4 ° и 5 ° были отмечены Тихо и Кеплером, так что принципы, на основе которых были рассчитаны таблицы, были явно ошибочными.

Очевидно, что решение проблемы с большей вероятностью можно было найти при изучении планеты, на которой отклонения от кругового движения были как можно больше. В случае Меркурия удовлетворительных наблюдений было мало, тогда как в случае Марса Тихо записал множество серий, и, следовательно, со стороны Тихо было истинной проницательностью поручить своему самому способному помощнику именно эту планету, а со стороны Кеплера - продолжать исследования с неутомимым терпением. Конкретная система эпициклов, использованная Копперником (глава IV,§ 87), оказалась ошибочной, и Кеплер приступил к разработке других геометрических схем, результаты которых можно было бы сравнить с наблюдениями. Расположение Марса на небе является совместным результатом движения Марса и Земли по их соответствующим орбитам вокруг Солнца, неровности двух орбит, по-видимому, были неразрывно перепутаны, и, соответственно, было достигнуто значительное упрощение, когда Кеплеру удалось с помощью хитроумной комбинации наблюдений, сделанных в подходящее время, отделить неровности, обусловленные землей, от неровностей, обусловленных движением самого Марса, и, таким образом, стало возможным сосредоточить свое внимание на последнем. Его богатое воображение предлагало гипотезу за гипотезой, комбинацию за комбинацией эксцентрика, эпицикла и экванта; он рассчитал результаты каждого из них и строго сравнил их с наблюдениями; и на каком-то этапе он пришел к геометрической схеме, которая была способна представлять наблюдения с погрешностями, не превышающими 8'.85 Человек менее интеллектуальный или менее убежденный в необходимости подчинения теории фактам, когда они противоречат друг другу, мог бы удовлетвориться такой степенью точности или мог бы предположить, что упрямые наблюдения Тихо ошибочны. Кеплер, однако, думал иначе:—

"Поскольку божественная благость дала нам в лице Тихо Браге самого внимательного наблюдателя, по наблюдениям которого в этом расчете обнаружена ошибка в 8', ... будет правильно, если мы с благодарностью признаем и воспользуемся этим Божьим даром.... Ибо, если бы я мог считать 8' долготы ничтожно малыми, я бы уже достаточно скорректировал гипотезу ... обнаруженную в главе XVI. Но поскольку ими нельзя было пренебрегать, только эти 8' проложили путь к полной реформе астрономии и стали предметом значительной части этой работы ".86

140. Соответственно, он начал все сначала и, перепробовав множество других комбинаций кругов, решил, что траектория Марса должна представлять собой какой-то овал. Сначала он был склонен верить в яйцевидный овал, больший с одного конца, чем с другого, но вскоре вынужден был отказаться от этой идеи. Наконец он попробовал простейшую известную овальную кривую, **эллипс**,87 и, к своему восторгу, обнаружил, что она удовлетворяет условиям задачи, если считать, что солнце находится в центре эллипса, описываемого Марсом.

Далее необходимо было сформулировать закон изменения скорости движения планеты на разных участках ее орбиты. Здесь Кеплер снова попробовал ряд гипотез, в ходе которых он изрядно заблудился в хитросплетениях связанных с этим математических вопросов, но, к счастью, после сомнительного процесса компенсации ошибок пришел к простому закону, который согласуется с наблюдениями. Он обнаружил, что планета движется быстро, когда приближается к Солнцу, и медленно, когда удаляется от него, таким образом, что площадь, описываемая линией, соединяющей солнце с Марсом, всегда пропорциональна времени. Таким образом, на рис. 6088 движение Марса наиболее быстрое в точке A, ближайшей к фокусу S, где находится солнце, наименее быстрое в точке A', а заштрихованная и не заштрихованная части рисунка представляют равные области, каждая из которых соответствует движению планеты в течение месяца. Триумф Кеплера при достижении этого результата выражен цифрой победы в углу диаграммы (рис. 61), которая использовалась при установлении последнего этапа его доказательства.

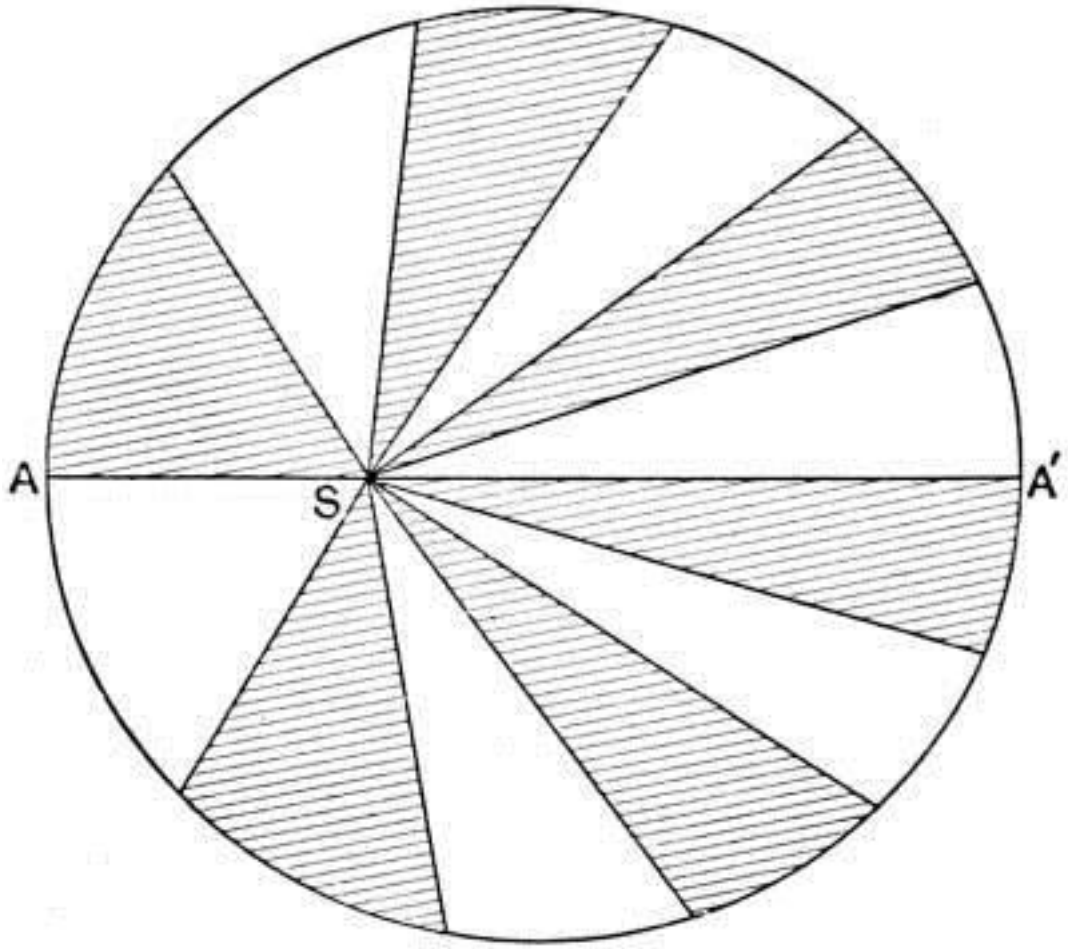


Рис. 60.—Второй закон Кеплера.

141. Таким образом, для случая Марса были установлены два важных результата, обычно известные как первые два закона Кеплера:

1. *Планета описывает эллипс, солнце находится в одном фокусе.*

2. *Прямая линия, соединяющая планету с Солнцем, охватывает равные участки за любые два равных промежутка времени.*

Полная история этого исследования, с уже изложенными результатами и рядом разработок и результатов второстепенной важности, вместе с бесчисленными отступлениями и необычными комментариями о ходе расследования, была опубликована в 1609 году в довольно объемистой книге "*Комментарии к движениям Марса*".89

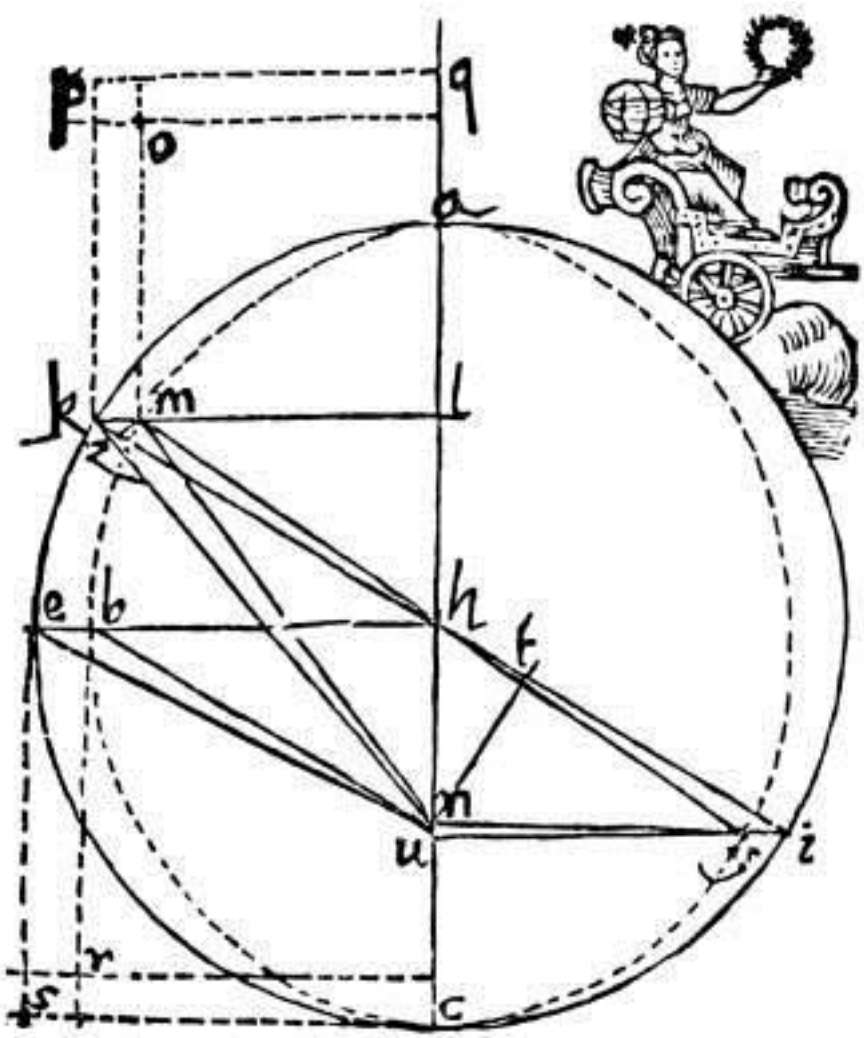


Рис. 61.—Диаграмма, используемая Кеплером для установления его законов движения планет. Из *Комментариев к Марсу*.

142. Хотя два только что приведенных закона движения планет были полностью установлены только для случая Марса, Кеплер заявил, что траектория земли также должна представлять собой своего рода овал, и, очевидно, уже был убежден — чему способствовала его твердая вера в гармонию Природы, — что все планеты движутся в соответствии с одними и теми же законами. Эта точка зрения обозначена в посвящении книги императору Рудольфу, в котором дается причудливый отчет об этой работе как о борьбе с мятежным Богом войны Марсом, в результате которой он, наконец, оказывается пленником у ног императора и обязуется жить для будущего как верноподданный. Поскольку, однако, у него много родственников в эфирных пространствах — его отец Юпитер, его дед Сатурн, его дорогая сестра Венера, его верный брат Меркурий — и

он тоскует по ним, а они по нему *из-за сходства их привычек*, он умоляет Императора как можно скорее отправить экспедицию, чтобы захватить и их, и с этой целью снабдить Кеплера “боевыми мускулами”, чтобы он мог снарядить подходящую армию.

Хотя деньги, столь деликатно запрошенные, поступали крайне нерегулярно, Кеплер постоянно держал в поле зрения экспедицию, для которой они должны были быть использованы, или, проще говоря, он упорно работал над проблемой распространения своей эллиптической теории на другие планеты и построения таблиц движения планет на основе наблюдений Тихо, которыми он так долго занимался.

143. В 1611 году его покровитель Рудольф был вынужден отречься от императорской короны в пользу своего брата Матиаса, который мало интересовался астрономией или даже астрологией; и поскольку положение Кеплера таким образом стало более ненадежным, чем когда-либо, он начал переговоры с землями Верхней Австрии, в результате которых ему было обещано небольшое жалованье при условии выполнения несколько разнообразных обязанностей по преподаванию математики в средней школе Линца, столицы, составлению новой карты провинции и составлению его планетных таблиц. Однако пока он решил остаться с Рудольфом.

В том же году Кеплер потерял свою жену, которая долгое время отличалась слабым физическим и психическим здоровьем.

В следующем году (1612) Рудольф умер, и Кеплер затем переехал в Линц и приступил там к своим новым обязанностям, хотя по-прежнему занимал должность математика при императоре и иногда даже получал некоторую часть должностного оклада. В 1613 году он женился снова, после тщательного обдумывания, описанного в необычном, но очень характерном письме одному из своих друзей, относительных достоинств одиннадцати дам, которых он считал возможными; и обеспечение надлежащего запаса вина для его нового дома привело к публикации брошюры, представляющей некоторый математический интерес, посвященной правильному способу измерения содержимого бочонка с изогнутыми стенками.90

144. В 1618-1621 годах, хотя в некотором смысле это были самые беспокойные годы его жизни, он опубликовал три важные книги — "*Воплощение астрономии Коперника*", "*Гармония мира*",91 и трактат о *кометах*.

Вторая и наиболее важная из них, опубликованная в 1619 году, хотя ведущая идея в ней была обнаружена в начале 1618 года, рассматривалась Кеплером как развитие его ранней*Mysterium Cosmographicum* (§ 136). Его спекулятивный и мистический темперамент постоянно побуждал его к поиску соотношений между различными числовыми величинами, встречающимися в солнечной системе; по счастливому наитию он подумал о попытке получить соотношение, связывающее размеры орбит различных планет со временем их обращения вокруг Солнца, и после ряда безуспешных попыток обнаружил простое и важное соотношение, широко известное как третий закон Кеплера:—

Квадраты времен обращения любых двух планет (включая землю) вокруг Солнца пропорциональны кубам их средних расстояний от солнца.

Если, например, мы выражаем времена обращения различных планет в единицах любой одной, которую удобно принять за время обращения Земли, а именно в году, и таким же образом выражаем расстояния в единицах расстояния земли от солнца как единицу, товремена обращения нескольких планет, взятых в порядке Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна приблизительно равны ·24, ·615, 1, 1·88, 11·86, 29·457, и их расстояния от солнца соответственно равны ·387, ·723, 1, 1·524, 5·203, 9·539; если теперь мы возьмем квадраты первого ряда чисел (квадрат числа — это число, умноженное само на себя) и кубы второго ряда (куб числа - это число, умноженное само на себя дважды, или квадрат, умноженный снова на число), мы получим два ряда чисел, приблизительно указанных в таблице:-

	Меркурий.	Венера.	Земля.	Марс.	Юпитер.	Сатурн.
Квадрат периодического времени	·058	·378	1	3·54	140·7	867·7
Куб среднего расстояния	·058	·378	1	3·54	140·8	867·9

Здесь будет видно, что два ряда чисел в верхнем и нижнем ряду соответственно полностью совпадают на столько знаков после запятой, сколько указано, за исключением случаев двух внешних планет, где нижние числа немного превышают верхние. Для этого расхождения Ньютон впоследствии назвал причину (глава IX, § 186), но из—за несколько несовершенного знания времен обращения и расстояний, которым обладал Кеплер, это расхождение было едва ли возможно обнаружить, и поэтому он был прав — со своей точки зрения - говоря о законе как о “точном”.92

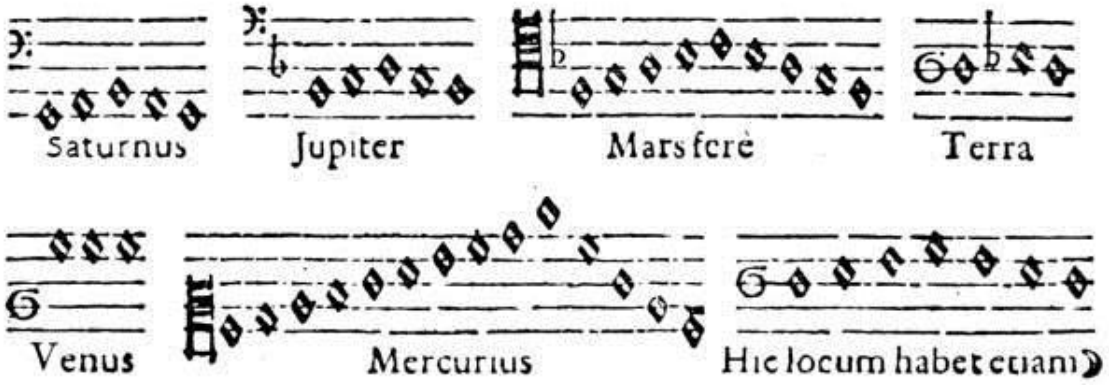


Рис. 62. — "Музыка сфер”, согласно Кеплеру. Из*Гармонии мира*.

Далее следует отметить, что закон Кеплера не требует знания фактических расстояний нескольких планет от солнца, а только их относительных расстояний, *т.* во сколько раз любая планета дальше от солнца или ближе к нему, чем любая другая. Другими словами, необходимо иметь или уметь составить карту Солнечной системы, правильную в ее *пропорциях*, но для этой цели совершенно необязательно знать*масштаб* карты.

Хотя "*Гармония мира*" - большая книга, в ней едва ли есть что-то ценное, кроме того, что уже было приведено. Значительная часть места занята повторениями более ранних рассуждений, содержащихся в *Mysterium Cosmographicum*, а большая часть остального заполнена бесполезными аналогиями между пропорциями солнечной системы и соотношениями между различными музыкальными гаммами.

У него хватает смелости записать черным по белому “музыку сфер” (в форме, показанной на рис. 62), в то время как бессмыслица, на которую он был способен, может быть дополнительно проиллюстрирована замечанием, встречающимся в той же части книги: “Земля поет нотыMi, Fa, Mi, так что вы можете догадаться по ним, что в этой нашей обители царят нищета (*miseria*) и голод (*fames*)”.

145. *"Изложение астрономии Коперника"*, которое по частям появлялось в 1618, 1620 и 1621 годах, хотя в нем нет особо поразительных открытий, является одной из самых привлекательных книг Кеплера, поскольку оно на удивление свободно от излишеств, которые обычно делают его труды такими утомительными. В умеренно краткой форме, в форме вопроса и ответа, содержится отчет об астрономии, известной в то время, изложенный с точки зрения Копперника, и воплощающий в себе как собственные открытия Кеплера, так и последние открытия Галилея. Такой учебник удовлетворял решительную потребность, и то, что это было признано как врагами, так и друзьями, было продемонстрировано его быстрым появлением в Римском *указателе запрещенных книг* (ср. главу VI, §§ 126, 132). *Эпитома* содержит первое четкое утверждение о том, что два фундаментальных закона движения планет, установленные для случая Марса (§ 141), были верны и для других планет (однако удовлетворительных доказательств приведено не было), и что они применимы также к движению Луны вокруг земли, хотя в этом случае были дополнительные нарушения, которые усложняли дело. Теория Луны разработана в значительных деталях, полностью рассматриваются как эвекция (глава II.,§ 48), так и вариация (глава III., § 60; глава V., § 111), хотя “годовое уравнение”, которое Тихо только начал осознавать в конце своей жизни (глава V., § 111), не обсуждается. Другим интересным развитием его собственных открытий является признание того, что его третий закон движения планет применим также к движению четырех спутников вокруг Юпитера, как записано Галилеем и Симоном Мариусом (глава VI, § 118). Кеплер также внес в *"Воплощение"* значительное улучшение в обычную оценку расстояния Земли от солнца, из которой сразу можно было сделать выводы о расстоянии других планет.

Если бы, как считалось со времен Гиппарха и Птолемея, расстояние до солнца было в 1200 раз больше радиуса Земли, тогда параллакс солнца (глава II, §§ 43, 49) временами достигал бы 3', а параллакс Марса, который в некоторых положениях гораздо ближе к земле, был бы пропорционально больше. Но Кеплер не смог обнаружить никакого параллакса Марса и поэтому пришел к выводу, что расстояния между Марсом и Солнцем должны быть больше, чем предполагалось. Не имея точных данных, на которые можно было бы опереться, он произвел из своего воображения и своих представлений о гармонии солнечной системы расстояние, примерно в три раза превышающее традиционное. Он утверждал, что, поскольку земля является обителью измеряющих существ, разумно ожидать, что измерения солнечной системы будут иметь какое-то простое отношение к размерам земли. Соответственно, он предположил, что объем солнца во столько же раз превышает объем земли, во сколько расстояние от солнца больше радиуса земли, и из этого странного предположения вывел уже указанное значение расстояния, которое, хотя и является улучшением по сравнению со старым значением, все же составляет лишь около одной седьмой от истинного расстояния.

В *Эпитоме* также содержится подробный отчет о затмениях солнца и Луны, с указанием причин, способов их предсказания и т.д. Слабый свет (обычно красноватый), которым часто сияет лик затмеваемой луны, правильно объясняется как солнечный свет, который прошел через атмосферу Земли и там отклонился от прямого курса, чтобы достичь Луны, до которой

свет солнца в целом, из-за расположения земли, не может достичь. Кеплер упоминает также кольцо света, видимое вокруг находящегося в состоянии затмения солнца в 1567 году, когда затмение, вероятно, было полным, а не кольцевидным (глава II., § 43), и приписывает его какой-то светящейся атмосфере вокруг солнца, ссылаясь на описание у Плутарха того жевида. По-видимому, это было раннее наблюдение и рациональное, хотя, конечно, очень несовершенное объяснение той замечательной солнечной оболочки, известной как **корона**, которая привлекла так много внимания за последние полвека (глава XIII, § 301).

146. "Трактат о *кометах*" (1619) содержал описание кометы, замеченной в 1607 году, впоследствии известной как комета Галлея (глава X, § 200), и трех комет, замеченных в 1618 году. Следуя Тихо, Кеплер твердо придерживался мнения, что кометы были небесными, а не земными телами, и объяснял их появление и исчезновение предположением, что они двигались по прямым линиям и, следовательно, после того, как однажды прошли вблизи земли, бесконечно удалялись в космос; он, по-видимому, не предпринимал никаких серьезных попыток проверить эту теорию путем сравнения с наблюдениями, очевидно, придерживаясь мнения, что путь тела, которое никогда больше не появится, не является подходящим объектом для серьезного изучения. Он согласился с наблюдением Фракастора и Апиана (глава III.,§ 69) о том, что хвосты комет направлены в сторону от солнца, и объяснил это предположением, что хвост образуется солнечными лучами, которые проникают сквозь тело кометы и уносят с собой некоторую часть ее вещества, теорией, которая, учитывая изменение наших взглядов на природу света, является удивительно правильным предвосхищением современных теорий хвостов комет (глава XIII.,§ 304).

В книге, предназначенной для популярной продажи, необходимо было максимально использовать "значение” появления кометы и ее влияния на человеческие дела, и поскольку Кеплер писал, когда Тридцатилетняя война только началась, в то время как религиозные преследования и войны продолжались в Европе почти без перерыва при его жизни, было нетрудно найти сенсационные события, которые произошли вскоре после или незадолго до появления упомянутых комет. Сам Кеплер, очевидно, не был склонен придавать большое значение подобным совпадениям; он думал, что, возможно, фактический контакт с хвостом кометы может вызвать эпидемию, но помимо этого не был готов сделать ничего большего, чем поддержать благочестивое, хотя и несколько нейтральное мнение о том, что одно из применений кометы - напоминать нам, что мы смертны. Его вера в то, что комет очень много, выражена в любопытной форме: “Существует столько же аргументов в доказательство годового движения земли вокруг Солнца, сколько комет в небесах”.

147. Тем временем положение Кеплера в Линце становилось все более и более неудобным из-за нарастающей волны религиозных и политических беспорядков, которые в конце концов привели к началу Тридцатилетней войны в 1618 году; но, несмотря на это, в 1617 году он отказался от предложения занять кафедру математики в Болонье, частично из-за привязанности к своей родной стране, а частично из-за вполне обоснованного недоверия к папской партии в Италии. Три года спустя он отклонил также предложения английского посла, имевшие целью сделать его украшением двора Якова I. Одним из главных оснований для отказа в данном случае было сомнение в том, что он не пострадает от заточения в пределах острова. В 1619 году император Матиас умер, и ему наследовал Фердинанд II., который как эрцгерцог начал преследование протестантов в Граце (§ 137) и у которого было мало научных интересов. Однако после некоторой задержки Кеплер был утвержден в своем назначении имперским

математиком. В 1620 году Линц был оккупирован империалистическими войсками, а к 1626 году притеснения протестантов римскими католиками зашли так далеко, что Кеплер решил уехать и, отправив свою семью в Регенсбург, сам отправился в Ульм.

148. В Ульме Кеплер опубликовал свою последнюю великую работу. На протяжении более четверти века он неуклонно и детально разрабатывал, на основе наблюдений Тихо и его собственных теорий, движения небесных тел, выражая результаты в такой удобной табличной форме, что определение местоположения любого тела в любое требуемое время, а также исследование других астрономических событий, таких как затмения, становились просто вопросом расчетов по установленным правилам; это великое начинание, в некотором смысле обобщающее его собственную работу и работу Тихо, было, наконец, опубликовано в 1627 году под названием*Таблицы Рудольфина* (название было дано в честь его бывшего покровителя), и примерно столетие оставались стандартными астрономическими таблицами.

У Кеплера давно было намерение после завершения работы с таблицами написать полный трактат по астрономии, который должен был называться*Новый Альмагест*; но этот план так и не был по-настоящему начат, не говоря уже о том, чтобы осуществлен.

149. После ряда безуспешных попыток погасить задолженность по зарплате ему посоветовали обратиться к Валленштейну, известному генералу-империалисту, занимавшему тогда в Силезии полунезависимую должность, который живо интересовался астрологией и обычно брал с собой одного или нескольких представителей этого искусства. Соответственно, Кеплер присоединился к Валленштейну в 1628 году и занимался у него астрологией, в дополнение к написанию нескольких второстепенных астрономических и астрологических трактатов. В 1630 году он отправился в Регенсбург, где в то время заседал сейм, чтобы лично предъявить свои требования о различных задолженностях по зарплате; но, измученный тревогой и утомительным путешествием, он заболел лихорадкой через несколько дней после прибытия и умер 15 ноября (Н.Э.) 1630 года на 59-м году жизни.

Опись его имущества, составленная после его смерти, показывает, что он владел значительной суммой, так что эффект крайней бедности, о котором свидетельствуют его письма, должно быть, был в значительной степени обусловлен его чрезмерно тревожным и возбудимым темпераментом.

150. В дополнение к уже упомянутым великим открытиям Кеплер внес немало незначительных вкладов в астрономию, таких как новые методы определения долготы и различные усовершенствования методов расчетов, необходимых для решения астрономических задач. Он также высказал некоторые интересные предположения относительно возможных причин, лежащих в основе известных небесных движений. В то время как система Птолемея требовала ряда движений вокруг простых геометрических точек, центров эпициклов или эксцентриситетов, эквантов и т.д., не занятых каким-либо реальным телом, и многие такие движения все еще требовались Копернику, схема солнечной системы Кеплера помещала реальное тело, солнце, в наиболее важную точку, связанную с траекторией каждой планеты, и аналогичным образом рассматривала движение Луны вокруг земли и четырех спутников вокруг Юпитера. На самом деле вращательные движения стали ассоциироваться не с какой-то центральной*точкой* а с некоторым центральным *телом*, и поэтому стало интересным выяснить,

существует ли какая-либо связь между движением и центральным телом. Свойство магнита притягивать кусок железа на некотором расстоянии от него наводило на мысль о возможной аналогии с Кеплером, который внимательно прочитал и, очевидно, был впечатлен трактатом *О магните* (De Magnete), опубликованным в 1600 году нашим соотечественником *Уильямом Гилбертом* из Колчестера (1540-1603). Он предположил, что таким образом, планеты можно рассматривать как связанные с Солнцем и, следовательно, в какой-то степени разделяющие его собственное движение вращения. Другими словами, некая “несущая сила” распространилась от солнца вместе с лучами света и тепла или подобно им и пыталась вращать планеты вместе с солнцем.

“Следовательно, существует конфликт между несущей способностью солнца и бессилием или материальной неповоротливостью (*инерцией*) планеты; каждое из них в какой-то мере одерживает победу, поскольку первое сдвигает планету с ее прежнего положения, а второе в некоторой степени освобождает тело планеты от уз, в которых оно таким образом удерживается ... но только для того, чтобы снова быть захваченным другой частью этой вращательной силы”.93

Прилагаемая диаграмма дана Кеплером в качестве иллюстрации этой довольно запутанной и расплывчатой теории.

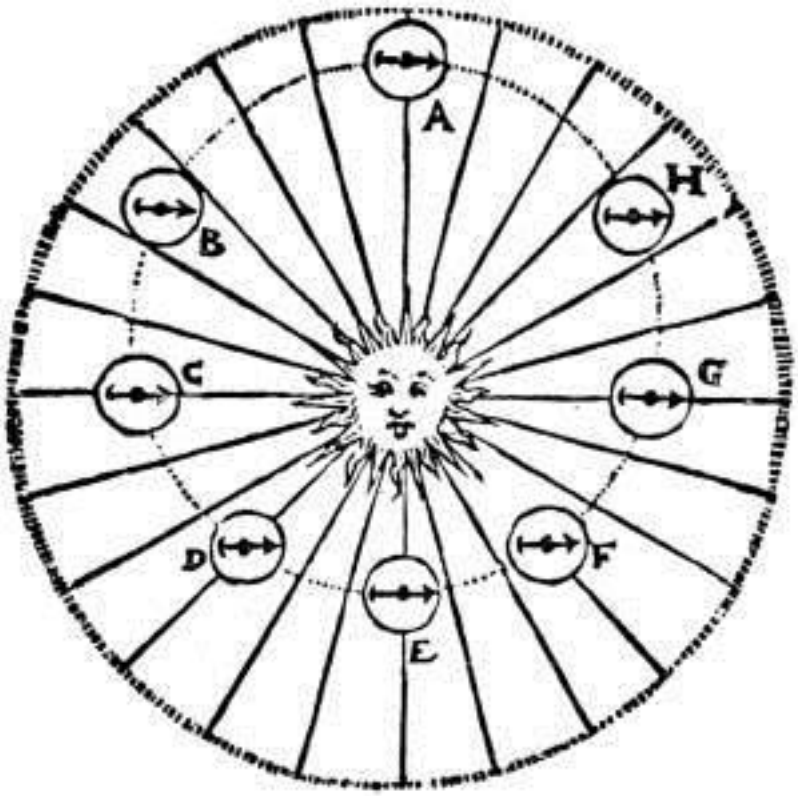


Рис. 63. Идея Кеплера о гравитации. Из *Эпитомы*.

Он верил также в более общую “гравитацию”, которую он определял94 как “взаимное телесное притяжение между смежными телами, стремящееся к их соединению”, и рассматривал приливы как результат действия такого рода между Луной и водой земли. Но выдвинутые таким образом спекулятивные идеи, которые можно рассматривать как предвосхищение открытия

Ньютоном всемирного тяготения, никоим образом не были логически развиты, а механические идеи Кеплера были слишком несовершенны, чтобы он мог добиться реального прогресса в этом направлении.

151. Мало найдется астрономов, о достоинствах которых высказывались бы такие разные мнения, как о Кеплере. Правда, существует общее согласие относительно огромной важности его трех законов движения планет, а также относительно существенной ценности*Таблиц Рудольфина* и различных второстепенных открытий. Эти результаты, однако, занимают лишь малую часть объемистых трудов Кеплера, которые перегружены массой диких спекуляций, мистических и оккультных фантазий, астрологии, погодных пророчеств и тому подобного, которые не только бесполезны с точки зрения современной астрономии, но и которые — в отличие от многих ошибочных или несовершенных спекуляций — никоим образом не указывали на направление, в котором наука должна была продвинуться дальше, и, должно быть, казались почти такими же несостоятельными трезвомыслящим современникам, таким как Галилей, как и нам. Следовательно, когда читаешь главу за главой, не имея ясной, а тем более правильной идеи, невозможно удержаться от сожалений о том, что интеллект Кеплера был так растрачен впустую, и временами трудно не подозревать, что некоторые из ценных результатов, заложенных в эту огромную массу утомительных спекуляций, были получены просто случайно. С другой стороны, не следует забывать, что подобные происшествия имеют обыкновение происходить только с великими людьми, и что если Кеплер любил давать волю своему воображению, то на него в равной степени производила впечатление необходимость скрупулезного сравнения умозрительных результатов с наблюдаемыми фактами и безоговорочного отказа от самой любимой из своих фантазий, если она не выдерживала этого испытания. Если бы Кеплер сжег три четверти того, что он напечатал, у нас, по всей вероятности, сложилось бы более высокое мнение о его интеллектуальной хватке и трезвости суждений, но мы бы в значительной степени утратили впечатление необычайного энтузиазма и трудолюбия, а также почти непревзойденной интеллектуальной честности, которое мы сейчас получаем при изучении его работ.

ГЛАВА VIII.
ОТ ГАЛИЛЕЯ К НЬЮТОНУ.

“А теперь высокий телескоп, масштаб

С помощью которого они отваживаются на нападение на сами небеса.

Был взращен и посажен на фоне полной луны”.

Худибрас

152. Между публикацией "*Двух новых наук*" Галилея (1638) и "*Принципов*" Ньютона (1687) прошло менее полувека; за этот промежуток времени не было опубликовано ни одного

астрономического открытия первостепенной важности, но был достигнут устойчивый прогресс в уже намеченных направлениях.

С одной стороны, хотя импульс, данный Тихо Браге точным наблюдениям, еще не иссяк, изобретение телескопа и его постепенное совершенствование открыли почти неограниченное поле для возможного открытия новых представляющих интерес небесных объектов. С другой стороны, замечательный характер трех законов, в которых Кеплер суммировал ведущие характеристики движений планет, вряд ли мог не натолкнуть любого разумного астронома на вопрос, *почему* должны соблюдаться именно эти законы, или, другими словами, стимулировать исследование возможности показать, что они являются необходимыми следствиями какого-то более простого и фундаментального закона или законов, в то время как исследования законов движения Галилея предполагали возможность установления некоторой связи между причинами, лежащими в основе этих небесных движений, и причинами, лежащими в основе обычных земных объектов.

153. Уже упоминалось, насколько внимательно другие астрономы следили за Галилеем (если не в некоторых случаях фактически его предвосхищали) в большинстве его открытий с помощью телескопов. Его сопернику Кристоферу Шайнеру (глава VI., §§ 124, 125) принадлежит заслуга открытия ярких объектов, похожих на облака, на солнце, видимых главным образом у его края, и из-за их блеска названных**факелами** (маленькие факелы). Шайнер также провел очень обширную серию наблюдений за движением и появлением пятен.

Изучение поверхности Луны с большой тщательностью проводил *Джон Хевель* из Данцига (1611-1687), опубликовавший в 1647 году свою *Селенографию*, или описание Луны, великолепно иллюстрированное таблицами, выгравированными и нарисованными им самим. Главные особенности Луны — горы, кратеры и темные пространства, которые тогда считались морями, — были систематически описаны и названы, по большей части в честь соответствующих особенностей нашей собственной земли. Названия, которые Хевель давал главным горным хребтам, *например Апеннинам* и *Альпам*, а также морям, *например Безмятежному морю* или Тихому океану, сохранились до наших дней; но аналогичные названия, данные им отдельным горам и кратерам, исчезли, и теперь они называются в честь различных выдающихся деятелей науки и философов, *например Платона* и *Копперника*, в соответствии с системой, введенной *Джоном Баптистом Риччоли* (1598-1671) в его объемистом трактате по астрономии. называется *Новый Альмагест* (1651).

Хевель, который был неутомимым работником, опубликовал две большие книги о кометах, "*Продромус Кометикус"* (1654) и "*Кометография"* (1668), содержащие первый систематический отчет обо всех зарегистрированных кометах. Он также составил каталог примерно из 1500 звезд, наблюдаемых в целом с точностью, несколько большей, чем у Тихо, хотя по-прежнему без использования телескопа; кроме того, он опубликовал улучшенный набор таблиц Солнца и множество других расчетов и наблюдений.

154. Ряд наблюдателей также с интересом наблюдали за планетами, которые в разное время обнаруживали яркие или темные отметины на Юпитере, Марсе и Венере. Два придатка Сатурна, которые Галилей открыл в 1610 году и которые не смог увидеть два года спустя (глава VI,§ 123), были замечены и описаны рядом астрономов при поразительном разнообразии проявлений, и тайна была разгадана только почти через полвека после первого наблюдения Галилея величайшим астрономом того периода, *Христианом Гюйгенсом* (1629-1695), уроженцем Гааги.

Гюйгенс обладал замечательными способностями, как практическими, так и теоретическими, в нескольких различных направлениях, и его вклад в астрономию был лишь малой частью его заслуг перед наукой. Овладев искусством шлифовать линзы с необычайной точностью, он смог сконструировать телескопы гораздо большей мощности, чем его предшественники. С помощью одного из этих приборов он открыл в 1655 году спутник Сатурна (*Титан*). Используя один из тех пережитков средневекового мистицизма, от которого даже самые трезвые умы столетия освобождались с величайшим трудом, он утверждал, что, поскольку общее число планет и спутников теперь достигло идеального числа 12, больше ничего не оставалось открывать — пророчество, которое с тех пор было многократно фальсифицировано (§ 160; глава XII.,§§ 253, 255; глава XIII.,§§ 289, 294, 295).

Используя еще более совершенный телескоп и опираясь на свою проницательность в интерпретации своих наблюдений, Гюйгенс сделал гораздо более интересное открытие, что загадочные явления, наблюдаемые вокруг Сатурна, были вызваны тонким кольцом (рис. 64), наклоненным под значительным углом (оцененным им в 31 °) к плоскости эклиптики, а следовательно, также к плоскости, в которой пролегает путь Сатурнавокруг Солнца. Этот результат был впервые объявлен — согласно любопытному обычаю того времени — анаграммой в той же брошюре, в которой было опубликовано открытие спутника, *De Saturni Luna Observatio Nova* (1656); а три года спустя (1659) появилась более крупная *Systema Saturnium*, в которой была дана интерпретация анаграммы, и различные явления, замеченные как им самим, так и более ранними наблюдателями, были объяснены с замечательной ясностью и тщательностью. Поскольку кольцо чрезвычайно тонкое, оно невидимо либо когда его край обращен к наблюдателю, либо когда оно обращено к солнцу, потому что в последнем положении остальная часть кольца не улавливает света. Дважды в ходе обращения Сатурна вокруг Солнца (точки B и D на рис. 66), *т.е.* с интервалом примерно в 15 лет, плоскость кольца проходит на короткое время через землю и солнце или очень близко к ним, и, следовательно, в эти два периода кольцо невидимо (рис. 65). Вблизи этих положений (например, в точках Q, R, S, T) кольцо кажется сильно укороченным и имеет вид двух рукавов, выступающих из тела Сатурна; еще дальше кольцо кажется шире, и отверстие становится видимым; и примерно за семь лет до и после периодов невидимости (в точках A и C) кольцо видно в самом широком месте. Гюйгенс приводит для сравнения со своими собственными результатами ряд рисунков, сделанных более ранними наблюдателями (воспроизведены на рис. 67), из которых видно, насколько близки некоторые из них были к открытию кольца.

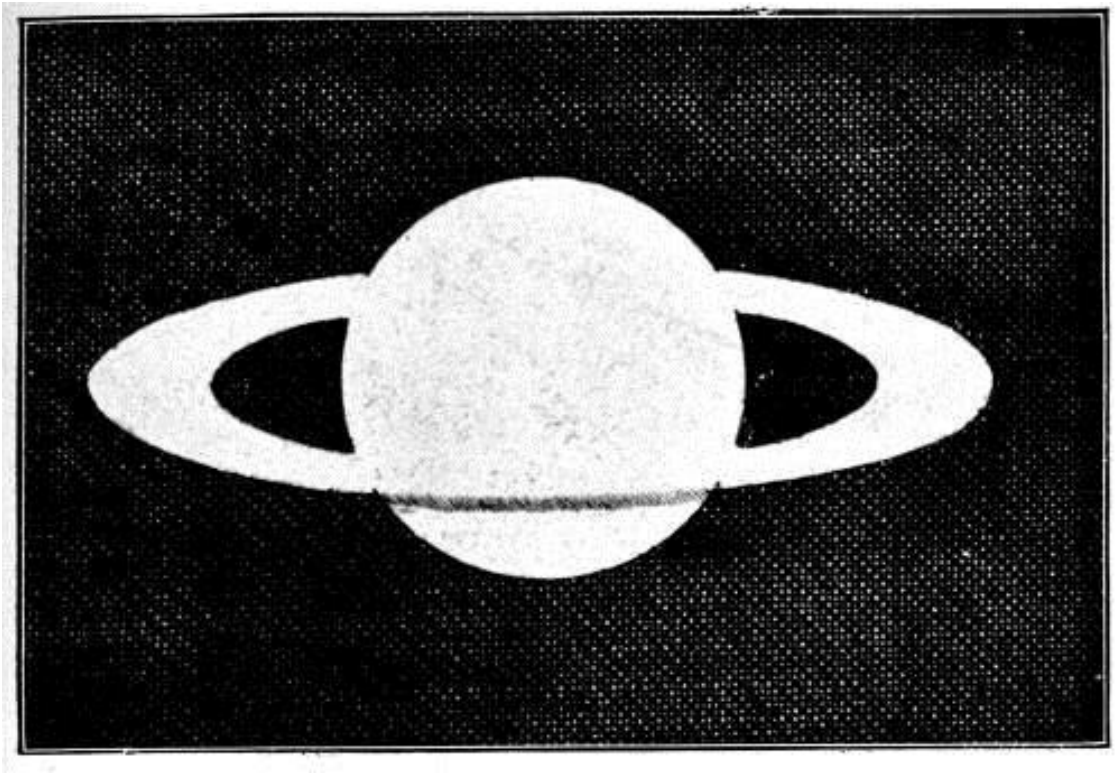


Рис. 64. — Кольцо Сатурна, нарисованное Гюйгенсом. Из *Системы Сатурния*.

[*Лицом к лицу, стр. 200.*

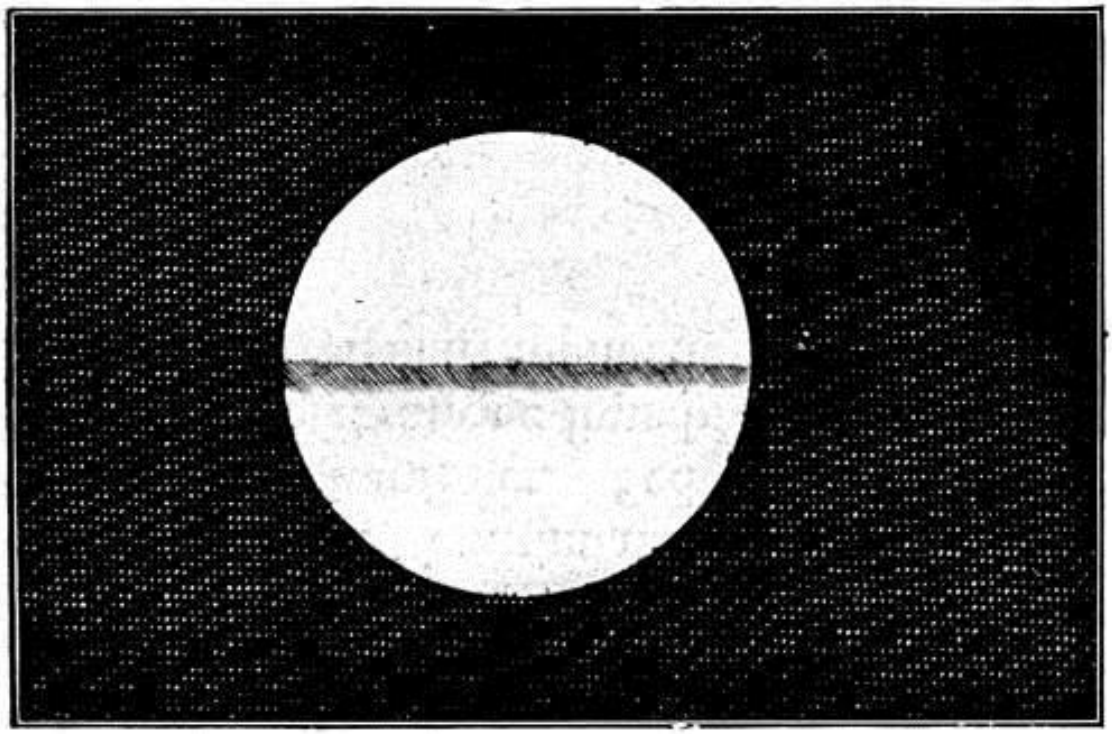


Рис. 65.—Сатурн, кольцо видно по краям. Из *Системы Сатурния*.

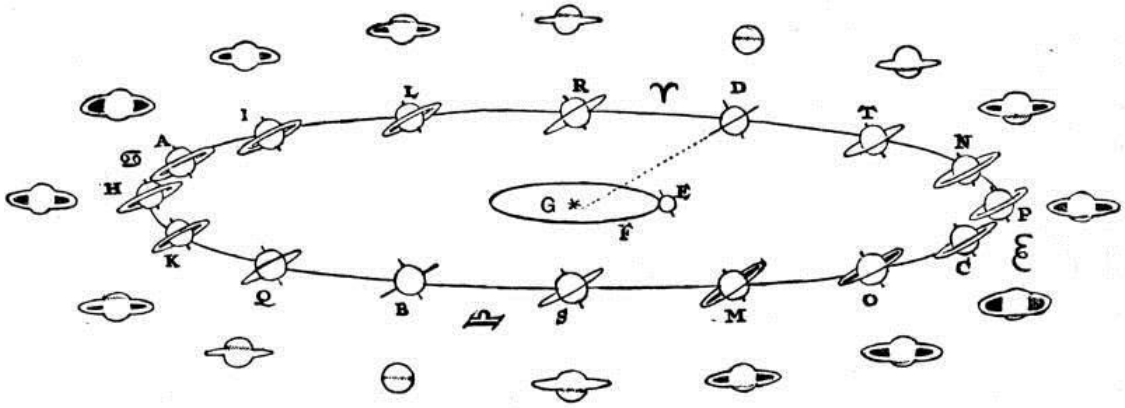


Рис. 66.Фазы кольца Сатурна. Из *Системы Сатурния*.

155. Нашему соотечественнику *Уильяму Гаскойну* (1612? -1644) принадлежит первое признание того, что телескоп можно использовать не только для общего наблюдения за внешним видом небесных тел, но и как точный инструмент, который давал бы направления на звезды и т.д. С большей точностью, чем это возможно невооруженным глазом, и увеличивал бы малые углы таким образом, чтобы облегчить измерение угловых расстояний между соседними звездами, диаметров планет и подобных величин. К несчастью, он был убит совсем молодым человеком в битве при Марстон-Муре (1644), но его письма, опубликованные много лет спустя, показывают, что к 1640 году он был знаком с использованием телескопических “прицелов” для точного определения положения звезды и что он сконструировал так называемый **микрометр**95, с помощью которого он мог измерять углы за несколько секунд. В то время о его открытиях ничего не было известно, и Гюйгенсу оставалось самостоятельно изобрести микрометр более низкого качества (1658), а*Адриану Озу* (?-1691) представить в качестве усовершенствования (около 1666 г.) инструмент, почти идентичный инструменту Гаскойна.

Систематическое использование оптических прицелов для регулярной работы обсерватории было впервые введено около 1667 года другом и коллегой Озу *Жаном Пикаром* (1620-1682).

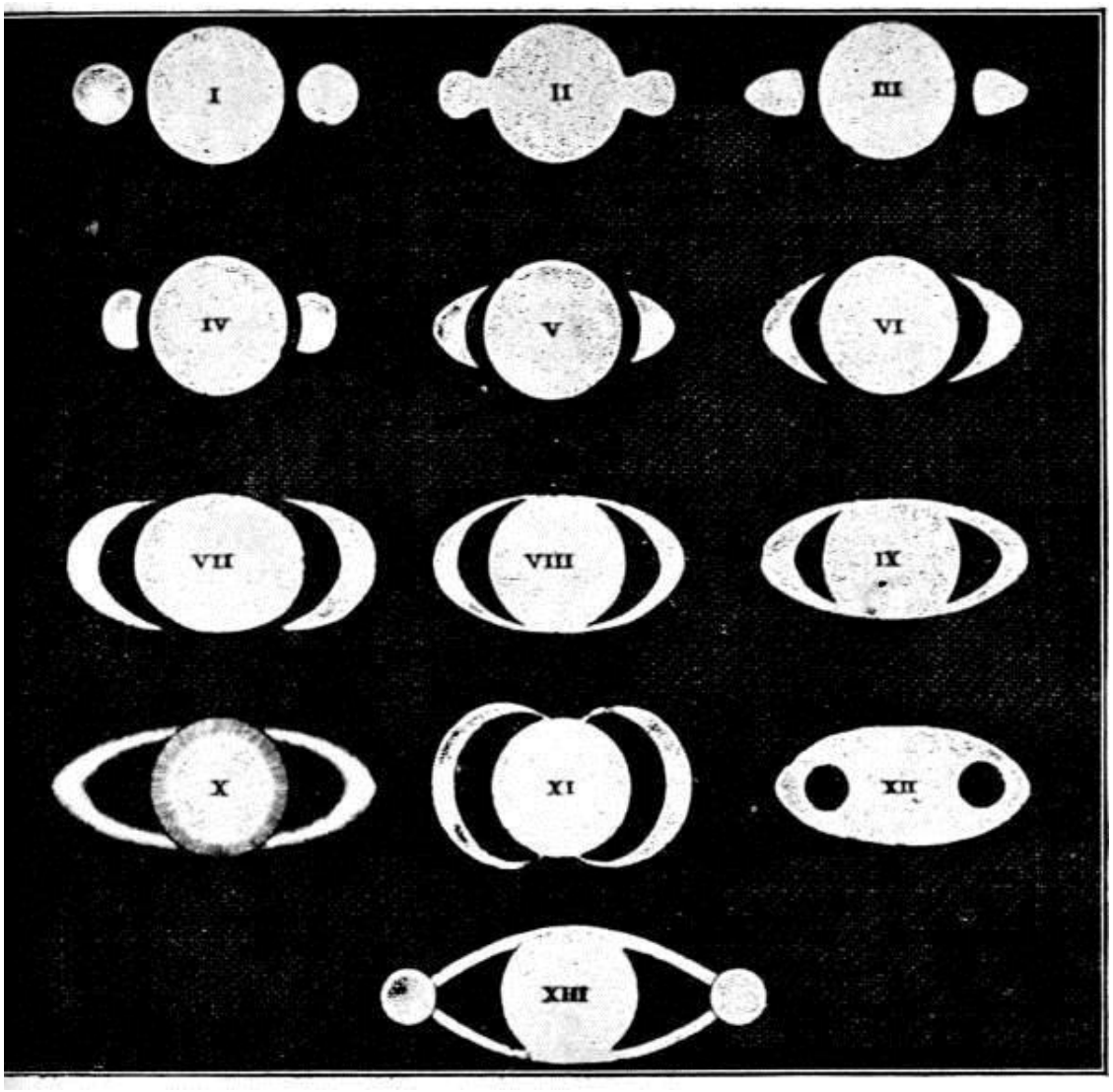


Рис. 67.— Ранние рисунки Сатурна. Из *системы Сатурния*.

[*Лицом к лицу, стр. 202.*

156. Вместе с Гаскойном следует упомянуть его друга *Джереми Хоррокса* (1617?-1641), который был восторженным поклонником Кеплера и внес значительное улучшение в теорию Луны, взяв за основу эллиптическую орбиту и затем допустив различные неровности. Он был первым наблюдателем прохождения Венеры, *т.е.* прохождения Венеры по диску Солнца, события, которое произошло в 1639 году, вопреки предсказанию Кеплера в *Таблицах Рудольфина*, но в соответствии с конкурирующими таблицами *Филипса фон Лансберга* (1561-1632), которые Хоррокс проверил для этой цели. Однако лишь много времени спустя Галлей указал на важность прохождения Венеры как средства определения расстояния Солнца от земли (глава X., § 202). Также стоит отметить, что Хоррокспредположил, что неравномерности движения Луны могут быть вызваны возмущающим действием солнца, и что у него также было некоторое представление об определенных неравномерностях в движении Юпитера и Сатурна, которые, как теперь известно, обусловлены их взаимным притяжением (глава X., § 204; глава XI.,§ 243).

157. Еще одно открытие Гюйгенса произвело революцию в искусстве точных астрономических наблюдений. Это было изобретение часов с маятником (изготовлено в 1656 году, запатентовано в 1657 году). Уже упоминалось, как то же самое открытие было сделано Бюрги, но фактически утрачено (см. главу V.,§ 98); и как Галилей снова ввел маятник в качестве средства измерения времени (глава VI.,§ 114). Однако маятник Галилея можно было использовать только для измерения очень короткого времени, поскольку не было механизма, поддерживающего его в движении, и вскоре движение прекратилось. Гюйгенс прикрепил маятник к часам, приводимым в движение гирями, так что часы поддерживали ход маятника, а маятник регулировал ход часов.96 С тех пор стало возможным проводить достаточно точные наблюдения за временем и, отмечая интервал между прохождением двух звезд через меридиан, определять из известной скорости движения небесной сферы их угловое расстояние к востоку и западу друг от друга, помогая таким образом установить положение одной относительно другой. И снова Пикар (§ 155) первым осознал астрономическую важность этого открытия и ввел регулярные наблюдения за временем в новой Парижской обсерватории.

158. Гюйгенс не был удовлетворен таким практическим использованием маятника, но разработал в своем трактате под названием *Oscillatorium Horologium* или *Часы с маятником* (1673) ряд важных результатов в теории маятника и в смежных проблемах, связанных с движением тела по окружности или другой кривой. Большая часть этих исследований лежит вне области астрономии, но его формула, связывающая время колебания маятника с его длиной и силой тяжести97 (или, другими словами, скорость падения тяжелого тела), предоставила практическое средство измерения силы тяжести с гораздо большей точностью, чем любые прямые эксперименты с падающими телами; и его исследование кругового движения, приведшее к выводу, что на тело, движущееся по кругу, должна действовать некоторая сила, направленная к *центру*, величина которой определенным образом зависела от скорости тела. а размер окружности,98, имеет фундаментальное значение для объяснения движения планет под действием силы тяжести.

159. В 17 веке также были сделаны первые измерения земли, которые были определенным шагом вперед по сравнению с измерениями греков и арабов (глава II,§§ 36, 45 и глава III, § 57). *Виллеброрд Снелл* (1591-1626), наиболее известный своим открытием закона преломления света, провел серию измерений в Голландии в 1617 году, в результате которых длина градуса меридиана оказалась равной около 67 миль, впоследствии эта оценка была изменена до примерно 69 миль одним из его учеников, который исправил некоторые ошибки в расчетах, и результат оказался в пределах нескольких сотен футов от принятого сейчас значения. Затем *Ричард Норвуд* (1590?-1675) измерил расстояние от Лондона до Йорка и, следовательно, получил (1636) длину градуса с ошибкой менее полумили. Наконец, Пикар в 1671 году выполнил некоторые измерения недалеко от Парижа, что привело к ошибке всего в нескольких ярдах. Поскольку длина градуса известна, можно сразу вычислить окружность и радиус земли.

160. Озу и Пикар были двумя членами группы астрономов-наблюдателей, работавших в Париже, из которых самым известным, хотя, вероятно, и не самым великим, был *Джованни Доменико Кассини* (1625-1712). Родившийся на севере Италии, он приобрел большую репутацию, отчасти благодаря некоторым довольно фантастическим схемам конструирования гигантских инструментов, отчасти благодаря открытию вращения Юпитера (1665), Марса (1666) и, возможно, Венеры (1667), а также благодаря своим таблицам движения спутников Юпитера (1668). Последнее заставило Пикара выхлопотать для него приглашение от Людовика XIV (1669)

приехать в Париж и осуществлять общее руководство Обсерваторией, которая в то время строилась и была в основном завершена в 1671 году. Кассини был трудолюбивым наблюдателем и объемным писателем, обладавшим замечательным талантом производить впечатление как на научную общественность, так и на Суд. Он обладал сильным чувством важности как себя, так и своей работы, но более чем сомнительно, чтобы у него были такие же четкие представления, как у Пикара, о действительно важных частях работы, которые должны быть выполнены в общественной обсерватории, и о том, как к ним приступить. Но, несмотря на эти недостатки, он оказал ценные услуги различным разделам астрономии. Он открыл четыре новых спутника Сатурна: *Япет* в 1671 году, *Рею* в следующем году, *Диону* и *Фетиду* в 1684 году; а также заметил в 1675 году темную отметину в кольце Сатурна, которая впоследствии была более отчетливо распознана как разделение кольца на два, внутреннее и внешнее, и известна как разделение Кассини (см. рис. 95 (стр. 384). Он также до некоторой степени улучшил теорию Солнца, вычислил новую таблицу атмосферной рефракции, которая была улучшением таблицы Кеплера (глава VII, § 138), и опубликовал в 1693 году свежий набор таблиц спутников Юпитера, которые были намного точнее тех, которые он опубликовал в 1668 году, и намного лучше существующих.

161. Вероятно, по предложению Пикара или Кассини один из их коллег-астрономов,*Джон Рич* (?-1696), в остальном почти неизвестный, предпринял (1671-3) научную экспедицию в Кайенну (на 5 ° северной широты). Были получены два важных результата. Было обнаружено, что маятник данной длины в Кайенне бился медленнее, чем в Париже, что свидетельствует о том, что вблизи экватора сила тяжести была меньшей, чем в более высоких широтах. Этот факт наводил на мысль, что земля не является совершенной сферой, и впоследствии был использован в связи с теоретическими исследованиями проблемы формы земли (ср. главу IX, § 187). Опять же, наблюдения Ричера за положением Марса на небе в сочетании с наблюдениями, сделанными в то же время Кассини, Пикаром, и другими во Франции, привели к достаточно точной оценке расстояния до Марса и, следовательно, до солнца. Марс в то время находился в оппозиции (глава II, § 43), так что он был ближе к земле, чем в другое время (как показано на рис. 68), и поэтому располагался благоприятно для таких наблюдений. Принцип метода чрезвычайно прост и по существу идентичен тому, который долгое время использовался в случае Луны (глава II,§ 49). Один наблюдатель находится, скажем, в Париже (P, на рис. 69) и наблюдает направление, в котором появляется Марс, *т.е.* направление линии Pm; другой в Кайенне (C) аналогичным образом наблюдает направление линии C M. Линия Cp, соединяющая Париж и Кайенну, известна географически; таким образом, форма треугольника Cp M и длина одной из его сторон известны, поэтому длины других сторон легко вычислить.

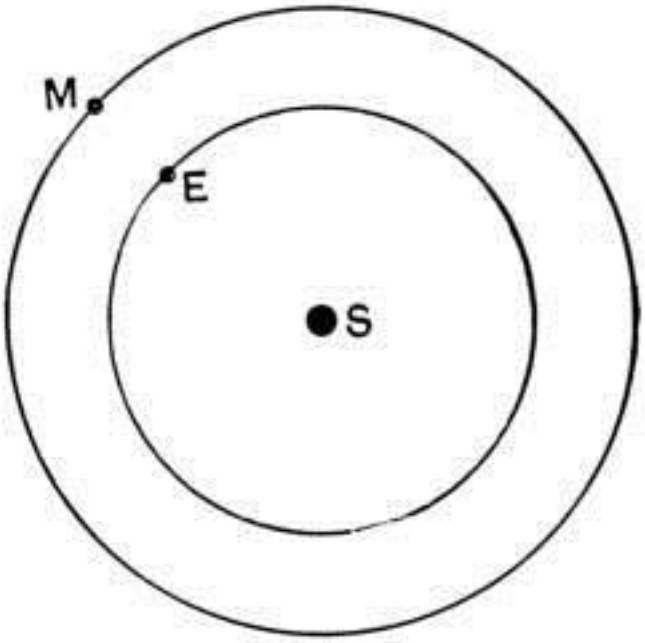


Рис. 68.—Марс в оппозиции.

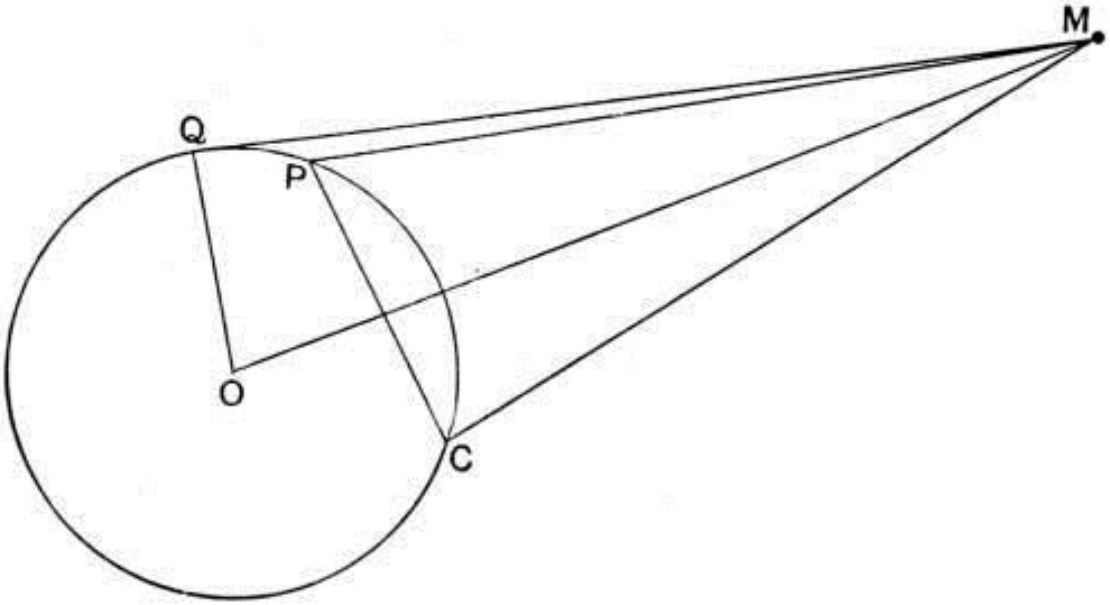


Рис. 69.Параллакс планеты.

Результат исследования такого рода часто удобнее всего выразить с помощью определенного угла, из которого при желании можно легко вывести расстояние в терминах радиуса земли и, следовательно, в милях.

Параллакс небесного тела, такого как Луна, солнце или планета, в первую очередь определяется в общих чертах (глава II, § 43) как угол (O M P) между линиями, соединяющими небесное тело с наблюдателем и с центром земли, и, как правило, изменяется в зависимости от положения наблюдателя. Очевидно, что оно наиболее велико, когда наблюдатель находится в таком положении, как в точке Q, что линия Mq касается земли; в этом положении M находится

на горизонте наблюдателя. Более того, поскольку угол Oqm является прямым углом, форма треугольника и соотношение его сторон полностью известны, когда известен угол Om Q. Поскольку этот угол равен параллаксу M, когда он находится на горизонте наблюдателя, его называют**горизонтальным параллаксом** M, но слово "горизонтальный" часто опускают. На рисунке легко увидеть, что чем дальше находится тело, тем меньше его горизонтальный параллакс; а с учетом малых параллаксов, которыми мы занимаемся в астрономии, расстояние и горизонтальный параллакс можно рассматривать как обратно пропорциональные друг другу; так что, например, если одно тело в два раза дальше другого, его параллакс вдвое меньше, и так далее.

Здесь может быть удобно указать, что слово “параллакс” используется в другом, хотя и аналогичном смысле, когда речь идет о неподвижной звезде. Видимое смещение неподвижной звезды из-за движения Земли (глава IV., § 92), которое на самом деле было обнаружено лишь много времени спустя (глава XIII., § 278), называется **годовым** или **звездным параллаксом** (прилагательное часто опускается); и это название применяется, в частности, к наибольшему углу между направлением звезды, видимым с солнца, и направлением, видимым с земли, в течение года. Если на рис. 69 мы рассматриваем M как представляющее звезду, O солнце, а круг - как путь земли вокруг солнца, тогда угол Om Q равен годовому параллаксу M.

В этом конкретном случае Кассини вывел из наблюдений Ричера с помощью некоторых довольно сомнительных процессов, что параллакс солнца составлял около 9"· 5, что соответствует расстоянию от земли примерно в 87 000 000 миль, или примерно в 360 раз больше расстояния от Луны, наиболее вероятное значение, согласно современным оценкам (глава XIII.,§ 284), будучи немного меньше 93 000 000. Хотя это и не совсем точный результат, это было огромным улучшением по сравнению со всем, что было сделано ранее, поскольку оценка расстояния до солнца Птолемеем, соответствующая параллаксу 3 ', сохранилась до начала 17 века, и хотя обычно считалось, что она серьезно неверна, большинство ее исправлений были чисто гипотетическими (глава VII., §§ 145).

162. Другим известным открытием, связанным с первыми днями существования Парижской обсерватории, было открытие скорости света. В 1671 году Пикар посетил Данию, чтобы осмотреть то, что осталось от обсерватории Тихо Браге в Хвене, и привез с собой молодого датского астронома*Олауса Ремера* (1644-1710), чтобы тот помог ему в Париже. Ремер, изучая движение спутников Юпитера, заметил (1675), что интервалы между последовательными затмениями луны (затмение было вызвано прохождением луны в тень Юпитера) регулярно были меньше, когда Юпитер и земля приближались друг к другу, чем когда они удалялись. Он увидел, что это легко объясняется предположением, что свет распространяется в пространстве с определенной, хотя и очень большой скоростью. Таким образом, если Юпитер приближается к земле, время, необходимое свету от одной из его лун, чтобы достичь земли, постепенно уменьшается, и, следовательно, интервал между последовательными затмениями, который мы наблюдаем, по-видимому, уменьшается. Исходя из разницы наблюдаемых таким образом интервалов и известных скоростей движения Юпитера и земли, таким образом, удалось составить приблизительную оценку скорости распространения света. Ремер также внес ряд важных инструментальных улучшений, но они носят слишком технический характер, чтобы обсуждать их здесь.

163. Остается упомянуть одно великое имя, относящееся к периоду, рассматриваемому в этой главе, -*Рене Декарт*99 лет (1596-1650). Хотя он считается великим философом, а также добился некоторых чрезвычайно важных успехов в чистой математике, его астрономические труды не представляли особой ценности и во многих отношениях были положительно вредны. В своих *принципах философии* (1644) он привел, среди некоторых совершенно ошибочных положений, более полное и общее изложение первого закона движения, открытого Галилеем (глава VI., §§ 130, 133), но не подкрепил его никакими ценными доказательствами. Та же книга содержала изложение его знаменитой теории вихрей, которая представляла собой попытку объяснить движения тел солнечной системы с помощью определенной комбинации вихрей или завихрений. Теория не была подкреплена никакими экспериментальными данными, и она не была сформулирована достаточно точно, чтобы ее можно было легко проверить путем сравнения с реальными наблюдениями; и, в отличие от многих ошибочных теорий (таких как греческие эпициклы), она никоим образом не вела к более истинным теориям, которые следовали за ней. Но “картезианство”, как в философии, так и в естествознании, стало чрезвычайно популярным, особенно во Франции, и его популярность заметно способствовала свержению авторитета Аристотеля, уже поколебленного такими мыслителями, как Галилей и Бэкон, и, таким образом, сделала умы людей немного более готовыми к восприятию новых идей: таким косвенным образом, а также своими математическими открытиями, Декарт, вероятно, внес какой-то вклад в астрономический прогресс.

ГЛАВА IX.
ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ.

“Природа и законы природы скрыты в ночи;

Бог сказал: ”Оставь Ньютона в покое!" - и все стало светом".

Папаримский.

164. Жизнь Ньютона удобно разделить на три части. Сначала были 22 года (1643-1665) отрочества и студенческой жизни; затем последовал его большой продуктивный период почти точно такой же продолжительности, кульминацией которого стала публикация*Principia* в 1687 году; в то время как остальная часть его жизни (1687-1727), которая длилась почти столько же, сколько два других периода вместе взятых, была в основном занята официальной работой и исследованиями ненаучного характера и не была отмечена открытиями, сравнимыми с теми, что были сделаны в его средний период, хотя некоторые из его ранних работ получили важные развития и было получено несколько новых результатов, представляющих несомненный интерес.

165. Исаак Ньютон родился в Вулсторпе, недалеко от Грэнтема, в Линкольншире, 4 января 1643 года;100 это было почти через год после смерти Галилея и через несколько месяцев после начала наших гражданских войн. Его вкус к учебе, по-видимому, развился не очень рано в

жизни, но в конечном итоге стал настолько заметным, что после нескольких безуспешных попыток превратить его в фермера в 1661 году он был принят в Тринити-колледж в Кембридже.

Хотя, вероятно, поначалу он был несколько более отсталым, чем большинство студентов старших курсов, он чрезвычайно быстро прогрессировал в математике и смежных предметах и, очевидно, доставлял своим учителям некоторые хлопоты быстротой, с которой усваивал то немногое, что они знали. Впервые он познакомился с "*Элементами геометрии"* Евклида, когда был студентом, но, как сообщается, вскоре отказался от нее как от “пустяковой книги” в пользу более продвинутого чтения. В январе 1665 года окончил обычный курс со степенью бакалавра искусств.

166. Внешние события жизни Ньютона в течение следующих 22 лет могут быть очень кратко опущены. Он был избран научным сотрудником в 1667 году, в установленном порядке в следующем году стал магистром, а в 1669 году был назначен лукасианским профессором математики вместо своего друга Исаака Барроу. Три года спустя он был избран членом недавно основанного Королевского общества. За исключением нескольких визитов в свой линкольнширский дом, он, по-видимому, почти весь период спокойно учился в Кембридже, и история его жизни - это почти исключительно история его последовательных открытий.

167. Его научные работы делятся на три основные группы: астрономия (включая динамику), оптика и чистая математика. Он также потратил много времени на экспериментальные работы по химии, а также по теплоте и другим разделам физики, и во второй половине своей жизни уделял много внимания вопросам хронологии и теологии; однако ни по одному из этих предметов он не добился результатов большой важности.

168. При оценке гениальности Ньютона, конечно, важно иметь в виду круг предметов, с которыми он имел дело; однако, с нашей нынешней точки зрения, его математика представляет собой лишь инструмент для использования в астрономической работе; и здесь необходимо упомянуть только те из его оптических открытий, которые имеют астрономическое значение. В 1668 году он сконструировал**телескоп-рефлектор**, то есть телескоп, в котором лучи света от рассматриваемого объекта концентрируются с помощью изогнутого зеркала, а не линзы, как в **телескопах-преломителях** Галилея и Кеплера. Телескопы на этом принципе, отличающиеся, однако, некоторыми важными деталями от ньютоновских, уже были описаны в 1663 году *Джеймсом Грегори* (1638-1675), с идеями которого Ньютон был знаком, но не похоже, что Грегори действительно изготовил инструмент. Из-за механических трудностей в конструкции прошло полвека, прежде чем были созданы телескопы-рефлекторы, которые могли конкурировать с лучшими рефракторами того времени, и с их помощью не было сделано никаких важных астрономических открытий до времен Уильяма Гершеля (глава XII), более чем через столетие после первоначального изобретения.

Открытие Ньютоном эффекта призмы при преобразовании луча белого света в разные цвета является в некотором смысле основой метода спектрального анализа (глава XIII, § 299), которому обязаны столь многие астрономические открытия последних 40 лет.

169. Идеи, благодаря которым Ньютон наиболее известен в каждой из трех его великих дисциплин — гравитации, его теории цветов и флюксий, — по-видимому, пришли ему в голову и были частично продуманы менее чем через два года после получения им степени, то есть до

того, как ему исполнилось 24 года. Его собственный отчет, написанный много лет спустя, дает яркую картину его необычайной умственной активности в то время:

“В начале 1665 года я нашел метод аппроксимации рядов и Правило для приведения любого достоинства любого бинома к такому ряду. В мае того же года я открыл метод касательных Грегори и Слузиуса, а в ноябре - прямой метод Флюксий, а в январе следующего года - Теорию цветов, а в мае следующего года я познакомился с обратным методом Флюксий. И втом же году я начал думать о силе тяжести, распространяющейся на орбиту Луны, и, выяснив, как оценить силу, с которой [земной шар], вращающийся внутри сферы, давит на поверхность сферы, исходя из Правила Кеплера о том, что периодичность обращения Планет пропорциональна их расстояниям от центров их орбит, я вывел, что силы, удерживающие Планеты на их орбитах, должны быть [равны] квадратам их расстояний от центров, вокруг которых они вращаются: и таким образом сравнил силу, необходимую для удержания Луны на орбите. ее шар взаимодействовал с силой притяжения на поверхности земли, и она нашла им почти ответ. Все это было в два чумных года, 1665 и 1666, ибо в те дни я был в расцвете своих изобретательских сил и интересовался математикой и философией больше, чем когда-либо с тех пор”.101

170. Значительную часть этого времени (1665-1666) он провел в Вулсторпе из-за распространения чумы.

Хорошо известная история о том, что падение яблока в саду заставило его задуматься о гравитации, основана на надежных источниках и вполне правдоподобна в том смысле, что яблоко, возможно, напомнило ему в тот конкретный момент о некоторых проблемах, связанных с гравитацией. То, что Apple всерьез предположила ему о существовании проблем или какого-либо ключа к их решению, крайне маловероятно.

Несколько астрономов уже размышляли о "причине” известных движений планет и спутников; то есть они пытались представить эти движения как следствия некоторых более фундаментальных и более общих законов. Кеплер, как мы видели (глава VII, § 150), указал, что рассматриваемые движения следует рассматривать не как результат влияния простых геометрических точек, таких как центры древних эпициклов, а как результат влияния других тел; и, в частности, предпринял некоторую попытку объяснить движение планет как результат особого рода влияния, исходящего от солнца. Однако он поступил совершенно неправильно, ища силу, поддерживающую движение планет и как бы подталкивающую их вперед. Открытие Галилея о том, что движение тела продолжается бесконечно, если только не действует какая-либо причина, изменяющая или останавливающая его, сразу же придало этому, как и другим механическим проблемам, новый аспект; но сам он не развивал свою идею в этом конкретном направлении.*Джованни Альфонсо Борелли* (1608-1679) в книге о спутниках Юпитера, опубликованной в 1666 году, и, следовательно, примерно во время первой работы Ньютона по этому вопросу, указал, что тело, вращающееся по кругу (или аналогичной кривой), имеет тенденцию удаляться от центра, и что в случае планет этому, как можно предположить, противодействует какое-то притяжение к солнцу. Таким образом, мы имеем здесь идею — конечно, в очень расплывчатой форме, — что движение планеты следует объяснять не силой, действующей в направлении, в котором она движется, а силой, направленной к солнцу, которое находится примерно под прямым углом к направлению движения планеты. Гюйгенс продвинул

эту идею гораздо дальше — хотя и без специальной ссылки на астрономию — и получил (глава VIII, § 158) числовую меру тенденции тела, движущегося по кругу, удаляться от центра, тенденции, которой нужно было каким-то образом противодействовать, если тело не хотело улетать. Гюйгенс опубликовал свою работу в 1673 году, через несколько лет после того, как Ньютон получил соответствующий результат, но до того, как он что-либо опубликовал; и не может быть никаких сомнений в том, что эти два человека работали совершенно независимо.

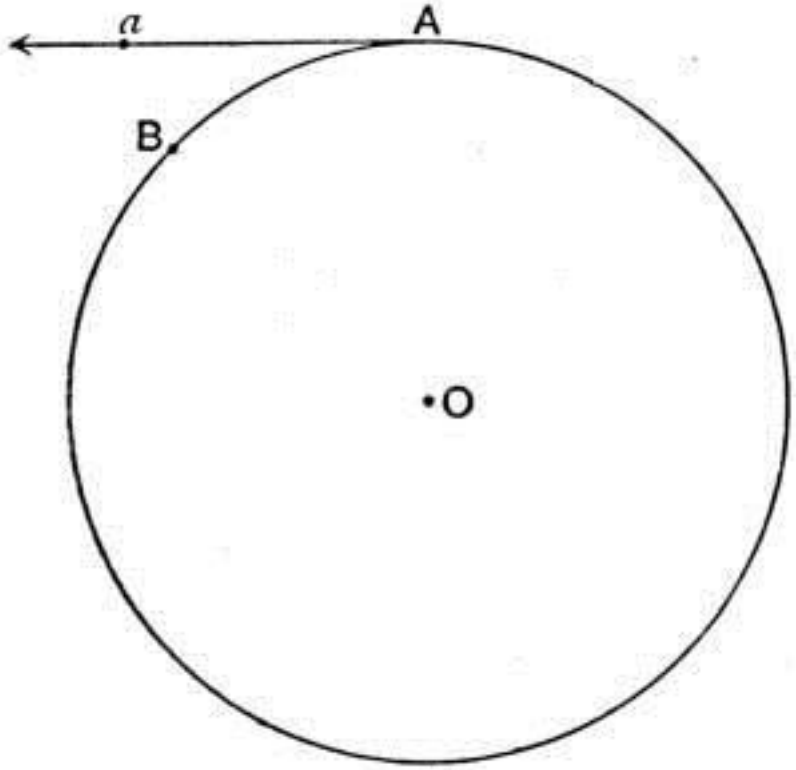


Рис. 70.Движение по кругу.

171. Рассматриваемая как чисто общий вопрос, помимо его астрономических приложений, проблема, можно сказать, заключается в изучении того, при каких условиях тело может вращаться по окружности с одинаковой скоростью.

Пусть A представляет положение в определенный момент тела , вращающегося с одинаковой скоростью по окружности с центром O. Тогда в этот момент тело движется в направлении касательной A *a* к окружности. Следовательно, согласно Первому закону Галилея (глава VI, §§ 130, 133), если бы оно было предоставлено самому себе и не подвергалось влиянию какого-либо другого тела, оно продолжало бы двигаться с той же скоростью и в том же направлении, *т.е.* Вдоль линии A *a*, и, следовательно, через некоторое время было бы найдено в такой точке, как*а*. Но на самом деле оказывается, что он находится в точке B на окружности. Следовательно, должно было действовать какое-то влияние, чтобы привести его к точке B вместо *a*. Но B ближе к центру круга, чем *a*; следовательно, должно действовать какое-то влияние, постоянно стремящееся притягивать тело к O или противодействующее тенденции, которую оно имеет в силу Первого закона движения, удаляться все дальше и дальше от O. Чтобы выразить любую из этих тенденций численно, нам нужна более сложная идея, чем идея скорости или темпа движения, а именно **ускорение** или скорость изменения скорости, идея, которую Галилей

привнес в науку в своем обсуждении закона падающих тел (глава VI., § § 116, 133). Падающее тело, например, движется через одну секунду со скоростью около 32 футов в секунду, через две секунды со скоростью 64, через три секунды со скоростью 96 и так далее; таким образом, каждую секунду оно набирает скорость падения 32 фута в секунду; и это можно выразить иначе, сказав, что тело имеет ускорение падения 32 фута в секунду в секунду. Дальнейшее исследование движения по кругу показывает, что движение полностью объяснимо, если движущееся тело имеет, в дополнение к своей первоначальной скорости, ускорение определенной величины,*направленное к центру круга*. Далее можно показать, что ускорение может быть выражено численно, если взять квадрат скорости движущегося тела (выраженный, скажем, в футах в секунду) и разделить это значение на радиус окружности в футах. Если, например, тело движется по кругу радиусом четыре фута со скоростью десять футов в секунду, то ускорение к центру составляет (10 × 10)/4 = 25 футов в секунду за секунду.

Эти результаты, наряду с другими аналогичного характера, были впервые опубликованы Гюйгенсом — конечно, не совсем в таком виде — в его книге о *часах с маятником* (глава VIII, § 158); и независимо открыты Ньютоном в 1666 году.

Тогда, если мы видим, что тело движется по кругу, его движение становится понятным, если можно обнаружить какое-то другое тело, которое производит это ускорение. В обычном случае, например, когда камень привязан к веревке и вращается, это ускорение создается веревкой, которая тянет камень; во вращающемся волчке ускорение внешних частей создается силами, привязывающими их к внутренней части, и так далее.

172. Известно, что в наиболее важных случаях такого рода, которые встречаются в астрономии, планета обращается вокруг солнца по траектории, которая мало отличается от окружности. Если мы пока предположим, что траектория на самом деле представляет собой круг, планета должна иметь ускорение по направлению к центру, и это можно объяснить влиянием центрального тела, солнца. Таким образом, возникает идея приписать солнцу способность каким-либо образом влиять на планету, которая вращается вокруг него, чтобы придать ей ускорение по направлению к солнцу; и сразу же возникает вопрос о том, как это “влияние” различается на разных расстояниях. Чтобы ответить на этот вопрос, Ньютон воспользовался Третьим законом Кеплера (глава VII, § 144). Мы видели, что, согласно этому закону, квадраты времен обращения любых двух планет пропорциональны кубам их расстояний от солнца; но скорость планеты можно найти, разделив длину пути, который она проходит при своем обращении вокруг Солнца, на время обращения, и эта длина снова пропорциональна расстоянию планеты от солнца. Следовательно, скорости двух планет пропорциональны их расстояниям от солнца, деленным на времена обращения, и, следовательно, квадраты скоростей пропорциональны квадратам расстояний от солнца, деленным на квадраты времен обращения. Следовательно, согласно закону Кеплера, квадраты скоростей пропорциональны квадратам расстояний, деленным на кубы расстояний, то есть квадраты скоростей*обратно* пропорциональны расстояниям, причем чем более удаленная планета имеет меньшую скорость, и *наоборот*. Теперь по формуле Гюйгенса ускорение измеряется квадратом скорости, деленным на радиус окружности (который в данном случае равен расстоянию планеты от солнца). Таким образом, ускорения двух планет по направлению к солнцу обратно пропорциональны расстояниям, каждое из которых умножено само на себя, то есть обратно пропорциональны квадратам расстояний. Таким образом, первый результат Ньютона таков: движение планет, рассматриваемое как движение по кругам и в строгом соответствии с Третьим

законом Кеплера, может быть объяснено действием солнца, если предположить, что солнце способно придать планете ускорение по направлению к самому солнцу, пропорциональное обратному квадрату ее расстояния от солнца; *т.е.* на удвоенном расстоянии оно на 1/4 больше, на трехкратном расстоянии на 1/9 больше, на десятикратном расстоянии на 1/100 больше и так далее.

Возможно, этот аргумент можно прояснить на числовом примере. В круглых числах расстояние Юпитера от солнца в пять раз больше, чем у земли, и Юпитеру требуется 12 лет, чтобы совершить оборот вокруг Солнца, в то время как земле требуется один. Следовательно, Юпитер проходитза 12 лет в пять раз больше расстояния, чем земля за один год, и скорость Юпитера, следовательно, примерно в 5/12 раза больше земной, или две скорости находятся в соотношении 5 к 12; квадраты скоростей, следовательно, равны 5 × 5 к 12 × 12, или 25 к 144. Таким образом, ускорения Юпитера и Земли по направлению к Солнцу составляют от 25 ÷ 5 до 144, или от 5 до 144; следовательно, ускорение Юпитера по направлению к Солнцу составляет примерно 1 / 28 земного, и если бы мы взяли более точные цифры, эта доля была бы более близка к 1 / 25. Следовательно, при пятикратном увеличении расстояния ускорение в 25 раз меньше.

Этот **закон обратных квадратов**, как его можно назвать, также является законом, согласно которому изменяется свет, излучаемый солнцем или любым другим ярким телом, и по этой причине также не исключено, что он проявится в связи с любым видом воздействия, излучаемого солнцем.

173. Следующим шагом в исследовании Ньютона было выяснить, можно ли каким-либо подобным образом объяснить движение луны вокруг земли. Используя тот же аргумент, что и ранее, можно было бы показать, что Луна имеет ускорение по направлению к земле. Теперь камень, если его уронить, падает вниз, то есть в направлении центра земли, и, как показал Галилей (глава VI,§ 133), это движение имеет равномерное ускорение; если, в соответствии с общепринятым в то время мнением, движение рассматривается как обусловленное землей, мы можем сказать, что земля обладает способностью придавать ускорение телам вблизи ее поверхности по направлению к своему собственному центру. Ньютон заметил, что эта сила распространяется, во всяком случае, на вершины гор, и ему пришло в голову, что она, возможно, может достигать Луны и таким образом вызывать требуемое ускорение. Хотя, однако, ускорение падающих тел, насколько было известно в то время, было одинаковым для земных тел, где бы они ни находились, было вероятно, что на таком расстоянии, как расстояние от Луны, ускорение, вызываемое землей, будет намного меньше. Ньютон предположил в качестве рабочей гипотезы, что ускорение уменьшается в соответствии с тем же законом, к которому он ранее пришел в случае воздействия солнца на планеты, то есть что ускорение, создаваемое землей для любого тела, обратно пропорционально квадрату расстояния тела от центра земли.

Можно заметить, что здесь возникает трудность, которой не было в соответствующем случае с планетами. Поскольку расстояния планет от солнца велики по сравнению с размерами солнца, не имеет большого значения, измеряются ли расстояния планет от центра солнца или от любой другой его точки. То же самое верно для Луны и земли; но когда мы сравниваем воздействие земли на Луну с воздействием на камень, расположенный на земле или вблизи нее, очевидно, что чрезвычайно важно решить, следует ли измерять расстояние до камня от ближайшей точки земли на расстоянии нескольких футов, от центра земли на расстоянии 4000 миль или от какой-

либо другой точки. Во всяком случае, временно Ньютон решил проводить измерения от центра земли.

Оставалось проверить его гипотезу в случае Луны численным расчетом; это легко можно было бы сделать, если бы были известны определенные вещи, *а именно*. ускорение падающего тела на землю, расстояние поверхности Земли от ее центра, расстояние до Луны и время, необходимое Луне для совершения оборота вокруг земли. Первый из них, возможно, был известен с достаточной точностью; последний был хорошо известен; и также было известно, что расстояние до Луны примерно в 60 раз превышает радиус Земли. Неизвестно, насколько точно Ньютон в то время знал размер земли. Используя цифры средней точности, вычисление легко выполнить. За месяц, длящийся около 27 дней, луна перемещается примерно в 60 раз больше расстояния вокруг земли; то есть за 27 дней она перемещается примерно на 60 × 24 000 миль, что эквивалентно примерно 3300 футам в секунду. Таким образом, ускорение Луны измеряется квадратом этого значения, деленным на расстояние до Луны (которое в 60 раз больше радиуса Земли, или 20 000 000 футов); то есть оно равно (3,300 × 3,300)/(60 × 20,000,000), что сокращается примерно до 1 × 110. Следовательно, если справедлив закон обратного квадрата, ускорение падающего тела у поверхности Земли, которая в 60 раз ближе к центру, чем Луна, должно составлять (60 × 60)/ 110, или между 32 и 33; но фактическое ускорение падающих тел несколько больше 32. Таким образом, аргумент является удовлетворительным, и гипотеза Ньютона на данный момент подтверждена.

Указанная таким образом аналогия между движением Луны вокруг земли и движением падающего камня может быть проиллюстрирована сравнением Луны, основанным на Ньютоне, с пулей, выпущенной горизонтально из ружья с высоты на земле. Пусть пуля стартует с точки B на рис. 71, затем, двигаясь сначала горизонтально, она опишет криволинейную траекторию и достигнет земли в точке, такой как C, на некотором расстоянии от точки A, вертикально под своей начальной точкой. Если бы он был пущен с большей скоростью, его траектория сначала была бы более пологой и он достиг бы земли в точке C' за пределами C; если бы скорость была еще больше, он достиг бы земли в точке C" или в точке C"; и требуется лишь небольшое усилие воображения, чтобы представить, что при еще большей скорости для начала он вообще миновал бы землю и описал бы вокруг нее круг, такой как B D E. Это именно то, что делает луна, с той лишь разницей, что луна находится на гораздо большем расстоянии, чем мы предполагали до пули, и что ее движение не было вызвано чем-либо аналогичным выстрелу из пистолета; но поскольку движение однажды произошло, не имеет значения, как оно было произведено и производилось ли оно когда-либо в прошлом. Фактически, мы можем сказать о Луне, “что она - падающее тело, только она движется так быстро и находится так далеко, что падает совсем по другую сторону земли, вместо того чтобы удариться о нее; и так продолжается вечно”.102

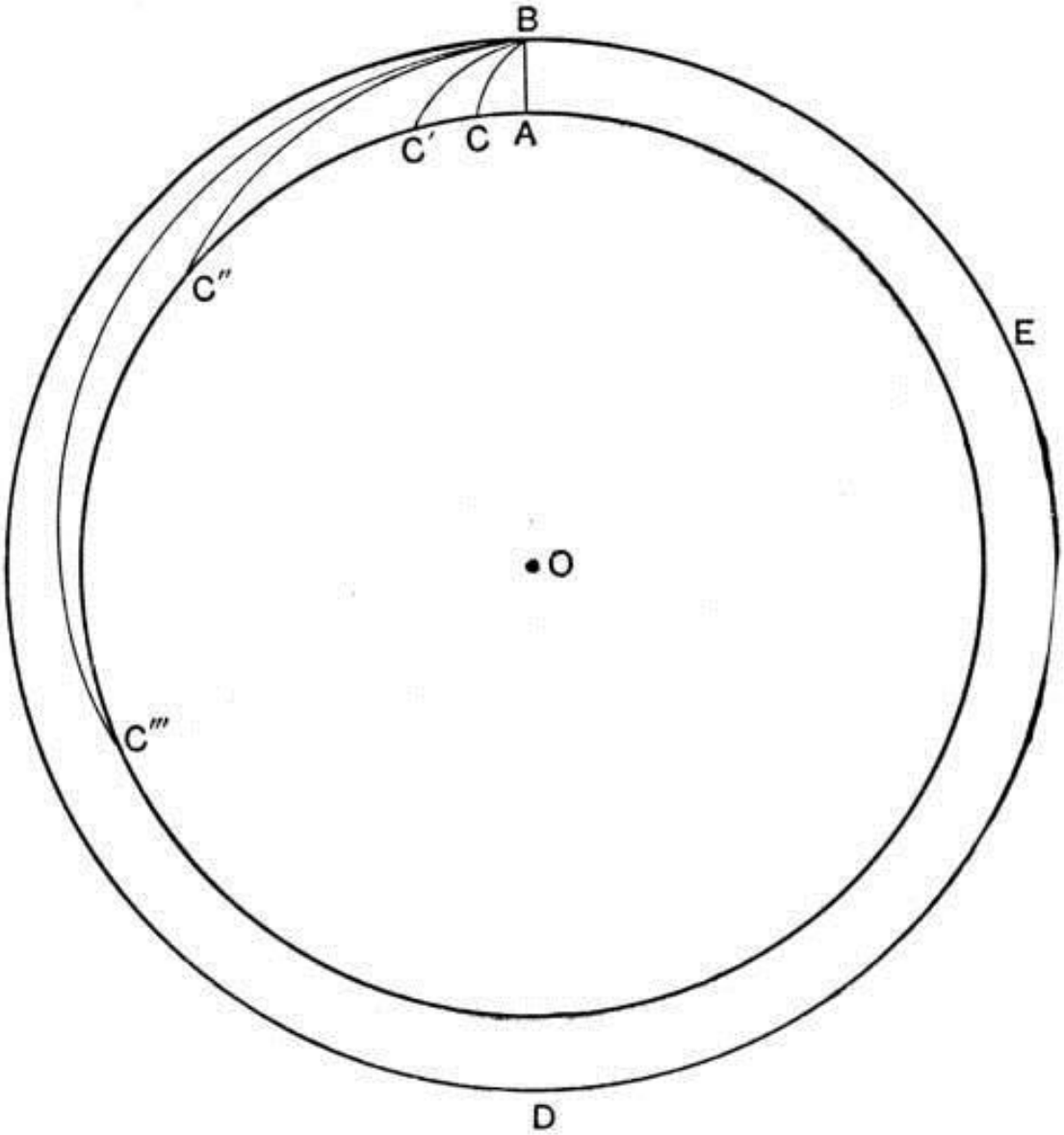


Рис. 71. Луна в виде снаряда.

В уже цитировавшемся меморандуме (§ 169) Ньютон говорит о гипотезе как о “довольно близком” соответствии фактам; но в письме более ранней даты (20 июня 1686 г.) он ссылается на расчеты как на недостаточно точные. Вероятно, он использовал серьезно неточное значение размера земли, упустив из виду измерения Снелла и Норвуда (глава VIII, § 159); известно, что даже на более позднем этапе он не смог удовлетворительно справиться с упомянутой выше трудностью относительно того, можно ли для целей задачи отождествить землю с ее центром; и он, конечно, знал, что траектория Луны значительно отличается от окружности. Мнение, которое, как говорят, было выведено из беседы Ньютона много лет спустя, что он был настолько недоволен своими результатами, что счел свою гипотезу существенно ущербной, возможно, но ни в коем случае не бесспорно; какова бы ни была причина, он отложил этот предмет в сторону на несколько лет, ничего не публикуя по нему, и посвятил себя главным образом оптике и математике.

174. Между тем проблема движения планет была одним из многочисленных предметов обсуждения среди замечательной группы людей, которые были ведущими деятелями Королевского общества, основанного в 1662 году.*Роберт Гук* (1635-1703), которому приписывалось большинство научных открытий того времени, не позднее 1674 года довольно определенно предположил, что движения планет могут быть объяснены притяжением между ними и солнцем, а также упомянул о возможности притяжения Земли к телам, изменяющимся в соответствии с законом обратного квадрата. *Кристофер Рен* (1632-1723), более известный как архитектор, чем как человек науки, обсуждал некоторые вопросы подобного рода с Ньютоном в 1677 году и, по-видимому, также думал о законе притяжения такого рода. Письмо Гука Ньютону, написанное в конце 1679 года и касающееся, среди прочего, кривой, которую описало бы падающее тело с учетом вращения земли, побудило Ньютона, который утверждал, что в это время его “привязанность к философии” “иссякла”, продолжить изучение небесных движений. Более точное измерение Земли Пикаром (глава VIII, § 159) теперь было хорошо известно, и Ньютон повторил свой прежний расчет движения Луны, используя улучшенные измерения Пикара, и нашел результат более удовлетворительным, чем раньше.

175. В то же время (1679 г.) Ньютон сделал еще одно открытие чрезвычайной важности, преодолев некоторые трудности, связанные с движением по траектории, отличной от окружности.

Он показал, что если тело движется вокруг центрального тела таким образом, что линия, соединяющая два тела, охватывает равные площади за равное время, как во Втором законе движения планет Кеплера (глава VII.,§ 141), то на движущееся тело действует притяжение, направленное точно к центральному телу; и далее, что если траектория представляет собой эллипс с центральным телом в одном фокусе, как в Первом законе движения планет Кеплера, то это притяжение должно изменяться на разных участках траектории как обратный квадратрасстояние между двумя телами. Фактически было показано, что законы движения планет Кеплера неизбежно приводят к выводам о том, что солнце оказывает на планету притяжение, обратно пропорциональное квадрату расстояния планеты от солнца, и что такое притяжение дает достаточное объяснение движения планеты.

Однако Ньютон снова ничего не опубликовал и “отбросил свои расчеты, занявшись другими исследованиями”.

176. Почти пять лет спустя этот вопрос был снова доведен до его сведения, на этот раз *Эдмундом Галлеем* (глава X., §§ 199-205), чья дружба с тех пор играла важную роль в жизни Ньютона и чья бескорыстная преданность великому астроному составляет приятный контраст с ссорами и завистью, распространенными в то время между столь многими учеными. Галлей, не зная о работе Ньютона в 1666 году, заново открыл в начале 1684 года закон обратных квадратов как следствие Третьего закона Кеплера и вскоре после этого обсудил с Реном и Гуком, по какой кривой будет двигаться тело, если на него воздействует притяжение, изменяющееся в соответствии с этим законом; но никто из них не смог ответить на этот вопрос.103 Позже в том же году Галлей посетил Ньютона в Кембридже и узнал от него ответ. Ньютон, что достаточно характерно, потерял свои предыдущие расчеты, но смог обработать их снова и отправил Галлею несколько месяцев спустя. На этот раз, к счастью, его внимание не было отвлечено на другие темы; он сразу же разработал ряд других проблем движения и посвятил этому предмету свой обычный осенний курс университетских лекций. Возможно, самым интересным из новых

результатов было то, что Третий закон Кеплера, из которого в 1666 году был выведен закон обратного квадрата, только исходя из предположения, что планеты движутся по окружностям, в равной степени соответствовал закону Ньютона, когда траектории планет были приняты за эллипсы.

177. В конце 1684 года Галлей снова отправился в Кембридж и убедил Ньютона опубликовать свои результаты. В соответствии с этой просьбой Ньютон написал и отправил в Королевское общество трактат под названием *Предложения о движении*, 11 положений которого содержали уже упомянутые результаты и некоторые другие, относящиеся к движению тел, притягиваемых к центру. Хотя предложения были даны в абстрактной форме, было указано, что некоторые из них применимы к случаю с планетами. Дальнейшее давление со стороны Галлея убедило Ньютона придать своим результатам более постоянную форму, воплотив их в более объемной книге. Как и следовало ожидать, тема разрослась под его руками, и в результате получился большой трактат, содержащий огромное количество материала, не содержащегося в*De Motu*. К середине 1686 года черновой вариант был закончен, и часть его была готова к печати. Галлей не только взял на себя расходы, но и руководил типографией и помог Ньютону собрать необходимые астрономические данные. После некоторой задержки в печати книга, наконец, появилась в начале июля 1687 года под названием*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

178. *Принципы*, как их обычно называют, состоят из трех книг в дополнение к вводному материалу: первая книга в целом посвящена проблемам движения тел, решаемым по большей части в абстрактной форме без специальной ссылки на астрономию; вторая книга посвящена движению тел в средах, которые сопротивляются их движению, таких как обычные жидкости, и имеет сравнительно небольшое астрономическое значение, за исключением того, что в ней указаны некоторые вопиющие несоответствия в картезианской теории вихрей; третья книга применяет к обстоятельствам реальной солнечной системы уже полученные результаты, в том числе и фактически является объяснением движения небесных тел на основе механических принципов Ньютона.

179. Вводная часть, состоящая из "Определений” и “Аксиом, или Законов движения”, вносит весьма заметный вклад в динамику, являясь фактически первым связным изложением фундаментальных законов, в соответствии с которыми возникают или изменяются движения тел. Сам Ньютон, по-видимому, не придавал этой части своей книги большого значения, и основные результаты, изложенные в ней, будучи как бы затмеваемыми более поразительными открытиями в других частях книги, привлекли сравнительно мало внимания. Многое из этого должно быть опущено здесь, но некоторые результаты особой астрономической важности требуют упоминания.

Галилей, как мы видели (глава VI, §§ 130, 133), был первым, кто сформулировал закон, согласно которому тело, однажды придя в движение, продолжает двигаться в том же направлении и с той же скоростью, если только не действует какая-либо причина, заставляющая его изменить свое движение. Этот закон дан Ньютоном в форме, уже цитированной в § 130, как первый из трех фундаментальных законов, и в настоящее время широко известен как Первый закон движения.

Галилей также обнаружил, что падающее тело движется с постоянно меняющейся скоростью, но с равномерным ускорением (глава VI., § 133), и что это ускорение одинаково для всех тел (глава VI.,§ 116). Поскольку общепризнано, что склонность тела к падению обусловлена землей, открытие Галилея включало в себя признание того, что одним из воздействий одного тела на

другое может быть ускорение, возникающее при его движении. Ньютон расширил эту идею, показав, что земля вызывает ускорение при движении Луны, а солнце - при движениипланет, и пришел к общей идее ускорения при движении тела, которое может быть различным образом обусловлено действием других тел и которое удобно использовать как меру воздействия, производимого одним телом на другое.

180. К этим идеям Ньютон добавил очень важную и сложную концепцию**массы**.

Если мы сравниваем два разных тела из одного и того же материала, но разных размеров, мы привыкли думать, что большее из них тяжелее другого. Точно так же мы легко представляем себе свинцовый шар тяжелее деревянного шара того же размера. Наиболее яркой идеей, связанной с “тяжестью” и “легкостью”, является идея мышечного усилия, необходимого для поддержки или подъема рассматриваемого тела; например, требуется большее усилие, чтобы удерживать свинцовый мяч, чем деревянный. Опять же, свинцовый шарик, если его поддерживать эластичной веревочкой, растягивает его дальше, чем деревянный шарик; или опять же, если их положить на чашу весов, свинец опускается, а дерево поднимается. Все эти эффекты мы приписываем “весу” двух тел, а вес, который мы в основном привыкли каким-то образом приписывать действию земли на тела. Далее, обычный процесс взвешивания тела на весах показывает, что мы привыкли думать о весе как об измеримой величине. С другой стороны, мы знаем из результата Галилея, который Ньютон очень тщательно проверил серией экспериментов с маятником, что свинцовый и деревянный шарики, если их бросить, падают с одинаковым ускорением. Следовательно, если мы измеряем воздействие, которое земля оказывает на два шара, по их ускорению, то земля воздействует на них одинаково; но если мы измеряем это силой, которой они обладают при растяжении струн, или силой, которой один обладает при поддержании другого в равновесии, то воздействие, которое земля оказывает на свинцовый шар, больше, чем воздействие, оказываемое на деревянный шар. Взятый таким образом, о воздействии земли на любой шар можно говорить как о весе, а вес тела можно измерить, сравнив его на весах со стандартными телами.

Однако различие между двумя такими телами, как свинцовый и деревянный шар, может быть распознано совершенно по-другому. Мы можем легко увидеть, например, что для приведения одного в движение требуется большее усилие, чем другого; или что если каждый из них привязан к концу веревки определенного вида и вращается с заданной скоростью, то одна веревка натягивается сильнее, чем другая. В этих случаях притяжение земли не имеет значения, и мы признаем различие между двумя телами, которое не зависит от притяжения земли. Это различие Ньютон считал обусловленным различием в количестве материи в двух телах, и этой величине он дал название массы. Можно справедливо усомниться, дает ли что-нибудь это конкретное определение массы, но действительно важным шагом было четкое признание массы как свойства тел, имеющего фундаментальное значение в вопросах динамики и поддающегося измерению.

Ньютон, развивая идею Галилея, дал в качестве одного из измерений действия, оказываемого одним телом на другое, произведение массы на произведенное ускорение — величину, для которой он использовал другие названия, теперь замененные на силу.*Вес* тела, таким образом, отождествлялся с силой, оказываемой на него землей. Поскольку Земля производит одинаковое ускорение во всех телах в одном и том же месте, отсюда следует, что массы тел в одном и том же месте пропорциональны их весам; таким образом, если сравнить два тела в

одном и том же месте и окажется, что вес одного из них (как показано, например, парой весов) в десять раз больше, чем у другого, то его масса также в десять раз больше. Но такие эксперименты, как эксперименты Ричера в Кайенне (глава VIII, § 161), показали, что ускорение падающих тел на экваторе меньше, чем в более высоких широтах; так что, если тело переносят из Лондона или Парижа в Кайенну, его вес изменяется, но масса остается такой же, как и раньше. Концепция Ньютона о земном притяжении, простирающемся до Луны, придала дополнительное значение различию между массой и утяжелением; ибо если бы тело было перенесено с земли на Луну, то его масса осталась бы неизменной, но ускорение, вызванное притяжением земли, было бы в 60 × 60 раз меньше, а его вес уменьшился бы в той же пропорции.

Также даны правила для влияния, оказываемого на движение тела одновременным действием двух или более сил.104

Следующий принцип огромной важности, от которого до Ньютона сохранились лишь очень смутные следы, был дан им как Третий закон движения в форме: “На каждое действие всегда есть равная и противоположная реакция; или взаимные действия любых двух тел всегда равны и противоположно направлены”. Здесь действие и противодействие следует интерпретировать прежде всего в смысле силы. Если камень лежит на руке, сила, с которой камень давит на руку вниз, равна силе, с которой рука давит на камень вверх; если земля притягивает камень вниз с определенной силой, то камень притягивает землю вверх с той же силой, и так далее. Следует тщательно отметить, что если, как в последнем примере, два тела воздействуют друг на друга, то создаваемые*ускорения* неодинаковы, но поскольку сила измеряется произведением массы на ускорение, тело с большей массой получает меньшее ускорение. В случае камня и земли масса последней неизмеримо больше,105 ее ускорение неизмеримо меньше, чем у камня, и поэтому (в соответствии с нашим опытом) совершенно неощутимо.

181. Когда Ньютон начал писать *Principia*, он, вероятно, убедился (§ 173), что притягивающая сила земли распространяется до Луны и что ускорение, создаваемое при этом любым телом — будь то луна или тело, находящееся близко к земле, — обратно пропорционально квадрату расстояния от центра земли. С помощью идей силы и массы этот результат может быть сформулирован в виде:*земля притягивает любое тело с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра земли, а также пропорциональной массе тела*.

Таким же образом Ньютон установил, что движения планет можно объяснить притяжением к солнцу, вызывающим ускорение, обратно пропорциональное квадрату расстояния от центра солнца, не только у *одной и той же* планеты на разных участках ее пути, но и у *разных* планет. Опять же, из этого следует, что солнце притягивает любую планету с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния планеты от центра солнца, а также пропорциональной массе планеты.

Но согласно Третьему Закону движения, тело, испытывающее притяжение к земле, должно, в свою очередь, оказывать равное притяжение на землю; аналогично, тело, испытывающее притяжение к солнцу, должно оказывать равное притяжение на солнце. Если, например, масса Венеры в семь раз больше массы Марса, то сила, с которой солнце притягивает Венеру, в семь раз больше силы, с которой оно притягивало бы Марс, если бы находилось на том же расстоянии; и, следовательно, также сила, с которой Венера притягивает солнце, в семь раз больше силы, с которой Марс притягивал бы солнце, если бы находился на равном расстоянии

от него. Следовательно, во всех рассмотренных до сих пор случаях притяжения, в которых возможно сравнение, сила пропорциональна не только массе притягиваемого тела, но также массе притягивающего тела, а также обратно пропорциональна квадрату расстояния. Таким образом, гравитация проявляется уже не как свойство, присущее центральному телу вращающейся системы, а как свойство, присущее планете точно так же, как солнцу, и Луне или камню точно так же, как земле.

Более того, тот факт, что отдельные тела на поверхности земли притягиваются землей и, следовательно, в свою очередь притягивают ее, предполагает, что эта способность притягивать другие тела, которой, как показано, обладают небесные тела, принадлежит не каждому небесному телу в целом, а отдельным частицам, составляющим его, так что, например, сила, с которой Юпитер и солнце взаимно притягивают друг друга, является результатом сочетания сил, с которыми отдельные частицы, составляющие Юпитер, притягивают отдельные частицы, составляющие солнце. Таким образом, предлагается, наконец, закон всемирного тяготения в его наиболее общей форме:*каждая частица материи притягивает каждую другую частицу с силой, пропорциональной массе каждой и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними*.106

182. Во всех уже упомянутых астрономических случаях притяжения между различными небесными телами рассматривались так, как если бы они были точно направлены к их центрам, а расстояние между телами принималось за расстояние между их центрами. На сомнения Ньютона по этому поводу в случае земного притяжения тел уже ссылались (§ 173); но в начале 1685 года ему удалось обосновать это предположение. С помощью исключительно красивого и простого хода рассуждений он показал (*Principia*, книга I., предложения 70, 71), что, если тело имеет сферическую форму и одинаковую плотность повсюду, оно притягивает любую частицу, внешнюю по отношению к нему, точно так же, как если бы вся его масса была сосредоточена в центре. Далее он показал, что то же самое верно для сферы переменной плотности, при условии, что ее можно рассматривать как состоящую из ряда сферических оболочек, имеющих общий центр, каждая из которых имеет одинаковую плотность повсюду, однако разные оболочки имеют разную плотность. Например, результат справедлив как для полого каучукового шара, так и для твердого, но неверен для сферы, состоящей из скрепленных вместе полусферы из дерева и полусферы из железа.

183. Поскольку закон всемирного тяготения был установлен таким образом временно, великая задача, стоявшая перед Ньютоном и которой он посвятил большую часть первой и третьей книг*Principia*, заключалась в том, чтобы вывести из него и ”законов движения" движения различных элементов солнечной системы и показать, по возможности, что рассчитанные таким образом движения согласуются с наблюдаемыми. Если бы это было успешно сделано, это позволило бы подтвердить самый тонкий и строгий характер принципов Ньютона.

Концепция солнечной системы как механизма, каждый элемент которого влияет на движение любого другого элемента в соответствии с одним универсальным законом притяжения, хотя и чрезвычайно проста сама по себе, легко увидеть, что она порождает очень серьезные трудности, когда предлагается фактически рассчитать различные движения. Если бы при рассмотрении движения такой планеты, как Марс, можно было считать, что на Марс действует только притяжение солнца, и игнорировать влияние других планет, тогда проблема была бы полностью решена с помощью положений, которые Ньютон установил в 1679 году (§ 175); и с их

помощью положение Марса в любой момент времени можно было бы вычислить с любой требуемой степенью точности. Но в том случае, который действительно существует, на движение Марса влияют силы, с которыми все другие планеты (а также спутники) притягивают его, а эти силы, в свою очередь, зависят от положения Марса (а также от положения других планет) и, следовательно, от движения Марса. Задача такого рода во всей своей общности совершенно неподвластна никаким существующим математическим методам. К счастью, однако, масса даже самой большой из планет настолько меньше массы Солнца, что на движение любой одной планеты другие оказывают лишь незначительное влияние; и ее можно рассматривать как движущуюся почти так же, как она двигалась бы, если бы не существовало других планет, влияние которых впоследствии учитывается как вызывающее возмущения или **пертурбации** на ее пути. Хотя даже в этой упрощенной форме проблема движения планет представляет собой проблему чрезвычайной сложности (ср. главу XI, § 228), и Ньютон не смог решить ее с какой-либо полнотой, все же он смог указать на определенные общие эффекты, которые должны быть результатом взаимного действия планет, наиболее интересным из которых является медленное поступательное движение апсид земной орбиты, которое давно было замечено наблюдающими астрономами (глава III,§ 59). Ньютон также указал, что Юпитер из-за своей огромной массы должен вызывать значительное возмущение в движении своего соседа Сатурна, и, таким образом, дал некоторое объяснение неправильности, впервые замеченной Хорроксом (глава VIII,§ 156).

184. Движение луны представляет особые трудности, но Ньютону, который, очевидно, очень интересовался проблемами теории луны, удалось преодолеть их гораздо полнее, чем соответствующие проблемы, связанные с планетами.

Движение Луны вокруг Земли происходит главным образом из-за притяжения земли; возмущения, вызванные другими планетами, незначительны; но солнце, которое, хотя и находится на очень большом расстоянии, имеет значительно большую массу, чем земля, оказывает очень ощутимое возмущающее воздействие на движение Луны. Определенные нарушения, как мы видели (глава II,§§ 40, 48; глава V., § 111), уже были обнаружены путем наблюдения. Ньютон смог показать, что возмущающее действие солнца обязательно вызовет возмущения того же общего характера, что и те, которые были обнаружены таким образом, и в случае движения узлов Луны и ее апогея он смог получить очень точный численный результат;107 и он также обнаружил ряд других неправильностей, по большей части очень малых, которые до сих пор не были замечены. Он указал также на существование определенных неравномерностей в движении спутников Юпитера и Сатурна, аналогичных тем, которые происходят в случае с нашей луной.

185. Одна группа результатов совершенно нового характера вытекает из теории тяготения Ньютона. Впервые стало возможным оценить*массы* некоторых небесных тел путем сравнения притяжения, оказываемого ими на другие тела, с притяжением, оказываемым землей.

В качестве иллюстрации можно привести случай с Юпитером. Известно, что время обращения самого внешнего спутника Юпитера составляет около 16 дней 16 часов, а его расстояние от Юпитера было оценено Ньютоном (не очень корректно) примерно в четыре раза больше расстояния Луны от земли. Расчет, точно подобный тому, что приведен в § 172 или § 173, показывает, что ускорение спутника из-за притяжения Юпитера примерно в десять раз больше

ускорения Луны по отношению к земле, и что, следовательно, расстояние в четыре раза больше, Юпитер притягивает тело с силой, в 10 × 4 × 4 раза превышающей силу, с которой земля притягивает тело, находящееся на том же расстоянии; следовательно, масса Юпитера в 160 раз больше массы земли. Этот процесс рассуждения применим также к Сатурну, и очень похожим образом сравнение движения планеты, например Венеры, вокруг солнца с движением Луны вокруг земли даетсоотношение между массами солнца и земли. Таким образом, Ньютон обнаружил, что масса Солнца в 1067, 3021 и 169282 раза больше массы Юпитера, Сатурна и земли соответственно. Соответствующие цифры, принятые в настоящее время, недалеко ушли от 1047, 3530, 324439. Большая ошибка в последнем числе связана с использованием ошибочного значения расстояния до солнца — тогда совсем не известного точно, — от которого зависят другие расстояния в солнечной системе, за исключением тех, которые связаны с системой земля-Луна. Поскольку для применения этого метода было необходимо иметь возможность наблюдать движение какого-либо другого тела, притягиваемого рассматриваемой планетой, его нельзя было применить к трем другим планетам (Марсу, Венере и Меркурию), о спутниках которых не было известно.

186. Из равенства действия и противодействия следует, что, поскольку солнце притягивает планеты, они также притягивают солнце, и солнце, следовательно, находится в движении, хотя — из-за сравнительной малости планет — лишь в очень малой степени. Отсюда следует, что Третий закон Кеплера не является строго точным, отклонения от него становятся ощутимыми в случае больших планет Юпитера и Сатурна (см. главу VII, § 144). Однако Ньютоном было доказано, что в любой системе тел, такой как Солнечная система, движущихся каким-либо образом под влиянием их взаимного притяжения, есть особая точка, называемая**центром тяжести**, которую всегда можно рассматривать как находящуюся в состоянии покоя; солнце движется относительно этой точки, но так мало, что расстояние между центром солнца и центром тяжести никогда не может быть намного больше диаметра солнца.

Возможно, довольно любопытно, что этот результат не был использован некоторыми сторонниками Церкви при осуждении Галилея, которому уже более полувека; ибо, если он был далек от поддержки точки зрения, что земля находится в центре мира, он, во всяком случае, отрицал ту часть доктрины Копперника и Галилея, которая утверждала, что солнце*покоится* в центре мира. Вероятно, никто, способный понять книгу Ньютона, не был серьезным сторонником какой-либо антикопперниканской системы, хотя некоторые все еще заявляли, что подчиняются папским указам по этому вопросу.108

187. Изменение времени колебаний маятника в разных частях земли, обнаруженное Ричером в 1672 году (глава VIII, § 161), указывало на то, что земля, вероятно, не является шаром. Ньютон указал, что этот отход от сферической формы был следствием взаимного притяжения частиц, составляющих землю, и вращения земли. Он предположил, что водный канал проходит от полюса к центру земли, а затем от центра к точке на экваторе (B O*a* A на рис. 72), а затем нашел условие, при котором эти два столба воды Ob, Oa, каждый из которых притягивается к центру земли, должны уравновешиваться. Этот метод включал определенные предположения относительно внутренней части земли, о которых даже сейчас мало что известно, и, следовательно, хотя общий результат Ньютона о том, что земля сплющена на полюсах и выпукла на экваторе, был правильным, фактическое числовое выражение, которое он нашел,

было не очень точным. Если на рисунке пунктирная линия представляет собой окружность, радиус которой равен расстоянию полюса B от центра земли O, то фактическая поверхность земли простирается по экватору за пределы этой окружности до точки A, где, согласно Ньютону, *a* A составляет примерно 1/230 от Ob или Oa, и согласно современным оценкам, основанным на фактических измерениях земли, а также на теории (глава X., § 221), это примерно 1/293 от O A. Как доля Ньютона, так и число современные модели настолько малы, что получающееся в результате уплощение невозможно изобразить на рисунке; на рис. 72 длина *a* A для наглядности увеличена почти в 30 раз по сравнению с требуемой.

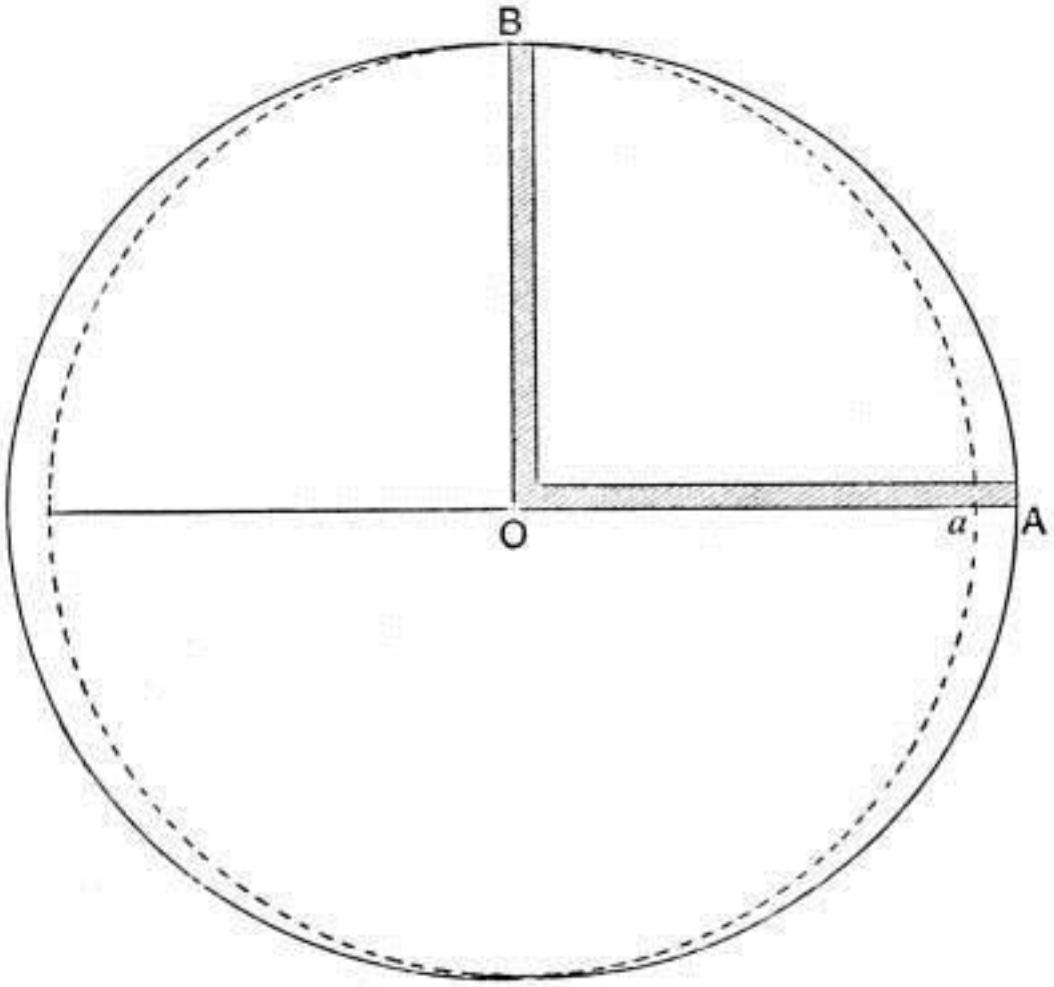


Рис. 72.—сфероидальная форма земли.

Ньютон аналогичным образом обнаружил также сплющивание Юпитера, который из-за своего более быстрого вращения значительно более сплющен, чем земля; это также было обнаружено телескопически Доменико Кассини через четыре года после публикации *Principia*.

188. Открытие формы земли привело к объяснению прецессии равноденствий, явления, которое было открыто 1800 лет назад (глава II, § 42), но с тех пор оставалось полной загадкой.

Если земля представляет собой идеальную сферу, то ее притяжение к любому другому телу точно такое же, как если бы вся ее масса была сосредоточена в ее центре (§ 182), и поэтому

притяжение к ней любого другого тела, такого как солнце или луна, эквивалентно единственной силе, проходящей через центр O земли; но это уже неверно, если земля не сферическая. Фактически, действие солнца или луны на сферическую часть земли внутри пунктирного круга на рис. 72 эквивалентно силе через O и не имеет тенденции каким-либо образом поворачивать землю вокруг ее центра; но притяжение на оставшейся части имеет другой характер, и Ньютон показал, что этопривело к движению оси Земли того же общего характера, что и прецессия. Величина прецессии, рассчитанная Ньютоном, на самом деле довольно близко соответствовала наблюдаемой величине, но это произошло из-за случайной компенсации двух ошибок, возникших из-за его несовершенного знания формы и строения земли, а также из-за ошибочных оценок расстояния до солнца и массы Луны, ни одну из этих величин Ньютон не смог измерить с какой-либо точностью.109 Далее указывалось, что рассматриваемое движение обязательно было не совсем равномерным, но что из-за неодинакового воздействия солнца в различных положениях земная ось будет колебаться взад и вперед каждые шесть месяцев, хотя и в очень незначительной степени.

189. Ньютон также дал общее объяснение приливов и отливов как вызванных возмущающим действием луны и солнца, причем первое было более важным. Если рассматривать землю как состоящую из твердого сферического ядра, покрытого океаном, то Луна притягивает разные части неодинаково, и, в частности, притяжение, измеряемое производимым ускорением, на воде, ближайшей к Луне, больше, чем на воде на твердой земле, а на воде, наиболее удаленной от Луны, меньше. Следовательно, вода движется по поверхности земли, причем общий характер движения такой же, как если бы часть океана на стороне, обращенной к Луне, притягивалась, а та, что на противоположной стороне, отталкивалась. Из-за вращения земли и движения Луны луна возвращается в почти одинаковое положение относительно любого места на земле за период, превышающий сутки (в среднем) примерно на 50 минут, и, следовательно, аргумент Ньютона показал, что приливы и отливы, вызванные Луной, будут следовать друг за другом в любом данном месте с интервалами, равными примерно половине этого периода; или, другими словами, что два прилива, как правило, будут происходить ежедневно, но что в каждый день любая конкретная фаза приливов будет происходить в среднем примерно на 50 минут позже, чем в предыдущий день. день, результат, согласующийся с наблюдением. Тот же аргумент показал, что аналогичные, но меньшие по размеру приливы возникают под действием солнца, а фактический прилив обусловлен сочетанием этих двух факторов. Было показано, что в новолуние и полнолуние лунные и солнечные приливы будут складываться вместе, тогда как в полумесяц они будут иметь тенденцию противодействовать друг другу, так что наблюдаемый факт усиления приливов каждые две недели получил объяснение. Было также показано, что ряд других особенностей приливов вытекает из тех же принципов.

Ньютон гениально использовал наблюдения за высотой прилива, когда солнце и луна действовали вместе и когда они действовали противоположно, чтобы сравнить силу прилива солнца и луны и, следовательно, оценить массу луны в терминах массы солнца и, следовательно, в терминах массы земли (§ 185). Полученная масса Луны была примерно вдвое больше, чем она должна была быть согласно современным знаниям, но поскольку до Ньютона никто не знал никакого метода измерения массы Луны даже самым приблизительным образом, и этот результат пришлось отделять от бесчисленных сложностей, связанных как с теорией, так и с наблюдением за приливами, его нельзя не рассматривать как замечательное достижение. Теория Ньютона о приливах и отливах основывалась на определенных гипотезах, которые необходимо было выдвинуть, чтобы сделать проблему вообще разрешимой, но которые,

безусловно, не были верными, и, следовательно, как он хорошо понимал, необходимо было внести важные изменения, чтобы привести его результаты в соответствие с реальными фактами. Например, само по себе наличие суши, не покрытой водой, достаточно для того, чтобы вызвать значительные изменения в приливных явлениях в различных местах. Таким образом, теория Ньютона ни в коем случае не подходила для такой задачи, как предсказание времени прилива в любом требуемом месте или высоты любого требуемого прилива, хотя и давала удовлетворительное объяснение многим общим характеристикам приливов.

190. Как мы видели (глава V., § 103; глава VII, § 146), кометы до совсем недавнего времени обычно рассматривались как земные объекты, возникающие в более высоких областях нашей атмосферы, и даже более просвещенные астрономы, которые, подобно Тихо, Кеплеру и Галилею, признавали их принадлежность к небесным телам, были неспособны дать объяснение их движениям и их, по-видимому, совершенно нерегулярным появлениям и исчезновениям. Ньютона заставили задуматься, нельзя ли объяснить движение кометы, как и движение планеты, притяжением к солнцу. Если это так, то, как он доказал в начале*Principia*, его путь должен быть либо эллипсом, либо одной из двух других смежных кривых, **параболой** и **гиперболой**. Если бы комета двигалась по эллипсу, который лишь незначительно отличался бы от окружности, то она никогда не удалялась бы от центра солнечной системы на какое-либо очень большое расстояние и, следовательно, была бы регулярно видна, что противоречило наблюдениям. Если, однако, эллипс был очень вытянутым, как показано на рис. 73, то период обращения легко мог быть очень большим, и в течение большей его части комета находилась бы так далеко от солнца, а следовательно, и от земли, что была бы невидима. Если это так, то комета была бы видна в течение короткого времени и стала бы невидимой только для того, чтобы снова появиться через очень долгое время, когда ее, естественно, стали бы рассматривать как новую комету. Если бы, опять же, путь кометы был параболой (которую можно рассматривать как эллипс неопределенной длины), комета вообще не возвращалась бы обратно, а была бы замечена всего один раз на той части своего пути, которая находится вблизи солнца. Но если бы комета двигалась по параболе с солнцем в фокусе, тогда ее положение, когда она находится не очень далеко от солнца, было бы почти таким же, как если бы она двигалась по вытянутому эллипсу (см. Рис. 73), и, следовательно, вряд ли было бы возможно провести различие между этими двумя случаями. Ньютон соответственно разработал случай движения по параболе, который математически проще, и обнаружил, что в случае кометы, привлекшей большое внимание зимой 1680-1, можно было найти параболическую траекторию, расчетные места кометы в которой полностью совпадали с наблюдаемыми. В более поздних изданиях *Principia* были исследованы движения ряда других комет с аналогичным результатом. Таким образом, было установлено, что во многих случаях траектория кометы представляет собой либо параболу, либо вытянутый эллипс, и что аналогичного результата следовало ожидать и в других случаях. Это сведение к правилу кажущихся произвольными движений комет и включение их вместе с планетами в тот же класс тел, движущихся вокруг Солнца под действием силы тяжести, может справедливо рассматриваться как одно из самых поразительных из бесчисленных открытий, содержащихся в *Принципах*.

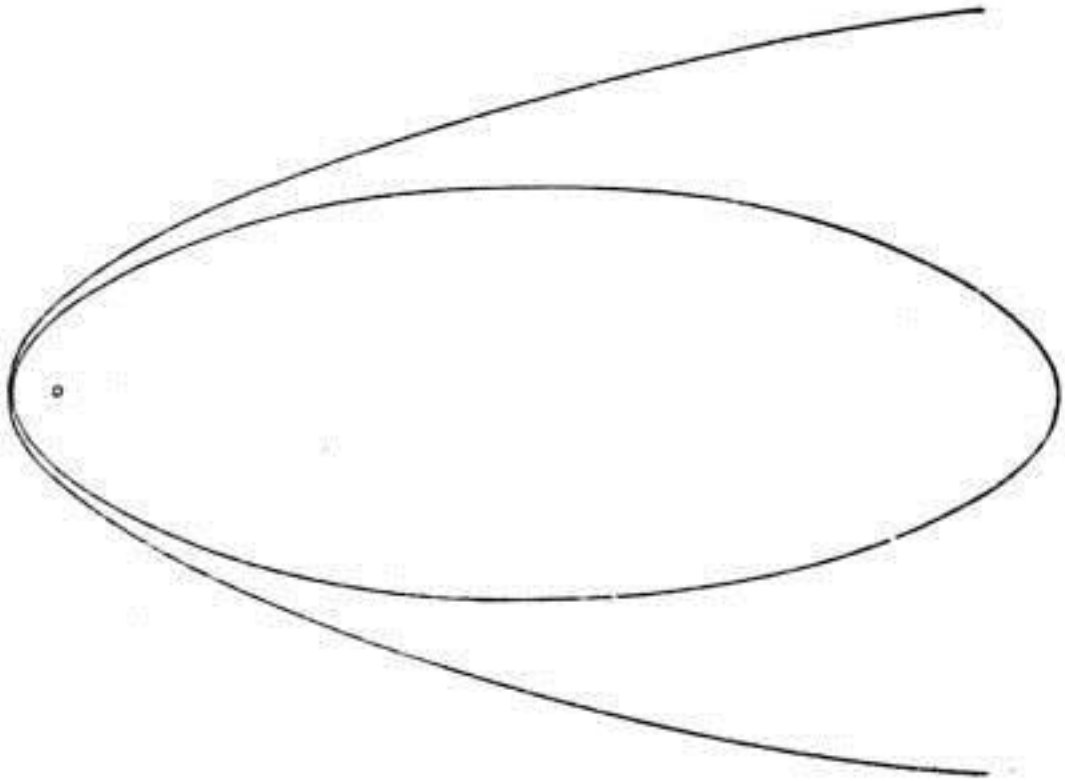


Рис. 73.—вытянутый эллипс и парабола.

В том же разделе Ньютон также довольно подробно обсудил природу комет и, в частности, структуру их хвостов, придя к выводу, который в целом согласуется с современными теориями (глава XIII, § 304), что хвост образован потоком тонкоизмельченного вещества, имеющего природу дыма, поднимающегося от тела кометы и настолько освещаемого светом солнца, когда оно находится достаточно близко, чтобы стать видимым.

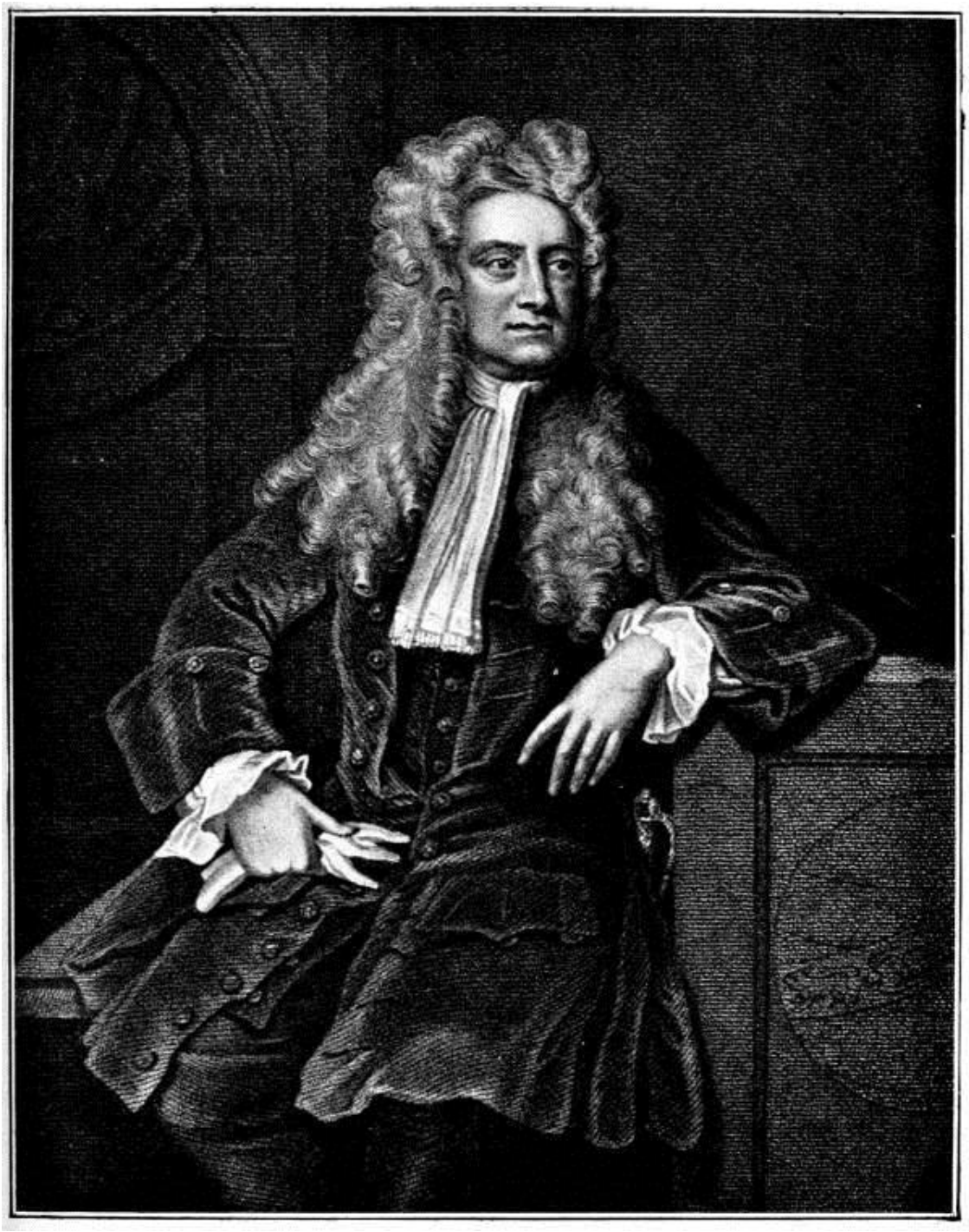
191. *Принципы* были опубликованы, как мы видели, в 1687 году. По-видимому, был напечатан лишь небольшой тираж, и он был исчерпан за три или четыре года. Более ранние открытия Ньютона и презентация Королевскому обществу трактата *О Моту* (§ 177) подготовили научный мир к поиску важных новых результатов в *Principia*, и книга, по-видимому, была прочитана ведущими континентальными математиками и астрономами и была очень тепло принята в Англии. Однако картезианская философия имела слишком прочную опору, чтобы ее можно было легко поколебать; и фундаментальный принцип Ньютона, включающий в себя идею действия между двумя телами, разделенными промежутком пустого пространства, казался неприемлемым для мыслителей, которые еще не полностью усвоили понятие оценки научной теории по степени, в которой ее следствия согласуются с наблюдаемыми фактами. Следовательно , даже такой способный человек , как Гюйгенс (глава VIII., §§ 154, 157, 158), расценил идею тяготения как “абсурдную” и выразил свое удивление по поводу того, что Ньютон взял на себя труд произвести такое количество трудоемких вычислений, не имея под собой никаких оснований, кроме этого принципа, замечание, которое показало, что Гюйгенс не имел представления о том, что соответствие результатов этих вычислений действительным фактам было доказательством обоснованности принципа. Личные причины также способствовали пренебрежительному отношению Континента к работе Ньютона, поскольку знаменитая ссора между Ньютоном и Лейбницем относительно их соответствующих претензий

на изобретение того, что Ньютон назвал флюксиями, а Лейбниц - дифференциального метода (из которого развились дифференциальное и интегральное исчисления) набирала силу , и в нее были втянуты новые участники с обеих сторон. Фактически прошло полвека, прежде чем взгляды Ньютона достигли какого-либо существенного прогресса на Континенте (см. главу XI, § 229). В нашей стране дело обстояло иначе; не только "*Принципы"* были с восхищением прочитаны теми немногими, кто был способен их понять, но и ученые вроде Бентли, философы вроде Локка и придворные вроде Галифакса - все они предпринимали попытки постичь общие идеи Ньютона, даже несмотря на то, что детали его математики были вне их досягаемости. Более того, вскоре было обнаружено, что его научные идеи могут быть с пользой использованы в качестве теологических аргументов.

192. Одним из печальных результатов большого успеха *Principia* стало то, что Ньютон превратился из тихого кембриджского профессора с обильным досугом и небольшим доходом в общественную личность, с постоянно увеличивающейся частью своего времени, посвящаемой общественным делам того или иного рода.

Незадолго до публикации *Принципов* он был назначен одним из представителей своего университета для защиты его прав от посягательств Якова II., а два года спустя он был депутатом от Университета в парламенте Конвента, хотя и ушел в отставку после его роспуска.

Несмотря на эти и многие другие отвлекающие факторы, он продолжал работать над теорией тяготения, уделяя особое внимание лунной теории - сложному предмету, своим подходом к которому он никогда не был вполне удовлетворен.110 К счастью, время от времени ему удавалось получать первоклассные наблюдения Луны (а также других тел) от королевского астронома Флемстида (глава X, §§ 197-8), хотя постоянные просьбы Ньютона и случайные отказы Флемстида периодически приводили к натянутым отношениям. Возможно, что примерно в это время Ньютон задумывался о написании нового трактата с более подробной трактовкой различных моментов, обсуждавшихся в*Principia*; а в 1691 году уже велись разговоры о новом издании *Principia*, возможно, под редакцией какого-нибудь молодого математика. В любом случае, в течение нескольких лет ничего серьезного в этом направлении сделано не было, возможно, из-за серьезной болезни, по-видимому, какого-то нервного расстройства, которое поразило Ньютона в 1692 году и длилось около двух лет. Во время этой болезни, как он сам сказал, “у него не было обычной последовательности ума”, и ни в коем случае нельзя быть уверенным, что он когда-либо полностью восстановил свою умственную активность и силу.



НЬЮТОН.

[*Лицом к лицу, стр. 139.*

Вскоре после выздоровления от этой болезни он сделал некоторые приготовления к новому изданию *Принципов*, помимо продолжения работы над лунной теорией, но работа снова была прервана в 1695 году, когда он получил ценное назначение смотрителем Монетного двора, с которого четыре года спустя был повышен до звания мастера. В результате ему пришлось переехать в Лондон (1696), и с тех пор большую часть своего времени он был занят официальными обязанностями. В 1701 году он оставил свою профессорскую должность в

Кембридже и в том же году был во второй разизбран парламентским представителем университета. В 1703 году он был избран президентом Королевского общества и занимал эту должность до своей смерти, а в 1705 году был посвящен в рыцари по случаю королевского визита в Кембридж.

За это время он опубликовал (1704) свой трактат по *оптике*, основная часть которого, вероятно, была написана задолго до этого, а в 1709 году он окончательно отказался от идеи редактировать "*Принципы*" самостоятельно и поручил работу *Роджеру Котсу* (1682-1716), блестящему молодому математику, безвременная кончина которого несколькими годами позже вызвала у Ньютона знаменитую хвалебную речь: “Если бы мистер Котс был жив, мы могли бы кое-что узнать”. Изменения, которые необходимо было внести, обсуждались в долгой и активной переписке между редактором и автором, наиболее важными изменениями были улучшения и дополнения к лунной теории, а также к обсуждениям прецессии и комет, хотя было также очень большое количество незначительных изменений; и новое издание появилось в 1713 году. Третье издание, отредактированное Пембертоном, было опубликовано в 1726 году, но на этот раз Ньютон, которому было за 80, принимал гораздо меньшее участие, и изменения не имели большого значения. Это была последняя научная работа Ньютона, и его смерть наступила в следующем году (3 марта 1727 года).

193. Невозможно дать адекватное представление об огромном масштабе научных открытий Ньютона, кроме как путем свободного использования математических формальностей, в которых была выражена основная их часть. Критика, высказанная в его адрес его личным врагом Лейбницем, что, “Если взять математику от начала мира до того времени, когда жил Ньютон, то то, что он сделал, было гораздо лучшей половиной”, и замечание его великого преемника Лагранжа (глава XI.,§ 237), “Ньютон был величайшим гением, который когда-либо существовал, и самым удачливым, поскольку мы не можем найти систему мира, которую можно было бы установить более одного раза”, показывают огромное уважение к его работе, которое испытывали те, кто был наиболее компетентен судить о ней.

С этими великолепными панегириками приятно сравнить собственное благодарное признание Ньютона своим предшественникам: “Если я видел дальше, чем другие люди, то это потому, что я стоял на плечах гигантов”, и его скромную оценку собственных достижений:

“Я не знаю, каким я могу показаться миру; но самому себе я кажусь всего лишь мальчиком, играющим на берегу моря и развлекающимся тем, что время от времени нахожу более гладкий камешек или более красивую ракушку, чем обычно, в то время как великий океан истины лежит передо мной совершенно неоткрытым”.

194. Иногда говорят, объясняя разницу между достижениями Ньютона и более ранних астрономов, что, хотя они открыли, *как* движутся небесные тела, он показал, *почему* движения были такими, какими они были, или, другими словами, что они *описывали* движения, в то время как он *объяснял* их или устанавливал их причину. Однако сомнительно, имеет ли это различие между "Как" и "Почему", хотя, несомненно, в какой-то степени удобное, какую-либо реальную значимость. Птолемей, например, представлял движение планеты определенной комбинацией эпициклов; его схема была эквивалентна определенному методу описания движения; но если бы кто-нибудь спросил его, почему планета находится в определенном положении в определенное время, он мог бы с полным основанием ответить, что это так, потому что планета связана с этой конкретной системой эпициклов, и ее место может быть выведено из них с

помощью строгого процесса расчетов. Но если бы кто-нибудь пошел дальше и спросил, почему эпициклы планеты были такими, какими они были, Птолемей не смог бы дать ответа. Более того, поскольку система эпициклов отличалась в некоторых важных отношениях от планеты к планете, система Птолемея оставила без ответа ряд вопросов, которые, очевидно, напрашивались сами собой. Затем Копперникус дал частичный ответ на некоторые из этих вопросов. На вопрос, почему существуют определенные движения планет, соответствующие определенным эпициклам, он бы ответил, что это происходит из-за определенных движений земли, из которых эти (кажущиеся) движения планет могут быть выведены как необходимые следствия. Но та же самая информация могла бы быть дана и как простое описательное утверждение о том, что земля движется определенным образом, а планеты - определенными другими способами. Но опять же, если бы Копперника спросили, почему земля вращается вокруг своей оси или почему планеты вращаются вокруг Солнца, он не смог бы дать ответа; еще меньше он мог бы сказать, почему планеты имеют определенные нарушения в своем движении, представленные его эпициклами.

Кеплер снова описал те же движения гораздо проще и короче с помощью своих трех законов движения планет; но если бы кто-нибудь спросил, почему движение планеты меняется определенным образом, он мог бы ответить, что это потому, что все планеты движутся по эллипсам, охватывая равные площади за одинаковое время.*Почему* это было так, Кеплер сказать не смог, хотя и потратил много времени на размышления на эту тему. Однако на этот вопрос ответил Ньютон, который показал, что движение планет является необходимым следствием его закона всемирного тяготения и его законов движения. Более того, из тех же самых законов, которые были чрезвычайно просты в изложении и немногочисленны, вытекали в качестве необходимых следствий движение Луны и многие другие астрономические явления, а также некоторые знакомые земные явления, такие как поведение падающих тел; так что большое количество групп наблюдаемых фактов, которые до сих пор были оторваны друг от друга, были здесь приведены в связь как необходимые следствия определенных фундаментальных законов. Но опять же, взгляд Ньютона на солнечную систему с таким же успехом можно было бы представить как простое описательное утверждение о том, что планеты и т.д. Движутся друг к другу с ускорениями определенной величины. Поскольку, однако, фактическое положение или скорость движения планеты в любой момент времени могут быть выведены только путем чрезвычайно сложных вычислений на основе законов Ньютона, они вовсе не эквивалентны наблюдаемым движениям небесных тел, и поэтому нам нелегко думать о них как о простом описании.

И снова законы Ньютона сразу же наводят на вопрос, почему тела притягиваются друг к другу именно таким образом; и на этот вопрос, который Ньютон полностью признал законным, он не смог ответить. Или снова мы могли бы спросить, почему планеты имеют определенные размеры, находятся на определенных расстояниях от солнца и т.д., и на эти вопросы Ньютон снова не смог бы дать ответа.

Но в то время как на вопросы, оставленные без ответа Птолемеем, Копперником и Кеплером, были полностью или частично даны ответы их преемников, то есть было показано, что их необъяснимые факты или законы являются необходимыми следствиями других более простых и общих законов, случилось так, что до настоящего времени никто не смог ответить сколь-нибудь удовлетворительным образом на те вопросы, которые Ньютон оставил без ответа. Таким образом, в этом конкретном направлении законы Ньютона обозначают границу наших

нынешних знаний. Но если бы кому-нибудь удалось в этом или следующем году доказать, что гравитация является следствием какого-то еще более общего закона, этот новый закон все равно привел бы к новому "Почему".

Если, однако, законы Ньютона нельзя рассматривать как окончательное объяснение явлений солнечной системы, за исключением исторического смысла, поскольку еще не было показано, что они зависят от других, более фундаментальных законов, их успех в “объяснении” с достаточной точностью такойогромной массы наблюдаемых результатов во всех частях солнечной системы и их универсальный характер дали мощный импульс идее учета наблюдаемых фактов в других областях науки, таких как химия и физика, некоторым аналогичным образом как следствие сил, действующих между телами, и, следовательно, концепции материальной вселенной как единого целого. состоит из определенного количества тел, каждое из которых воздействует друг на друга с определенными силами таким образом, что все изменения, которые можно наблюдать, являются необходимыми следствиями этих сил и могут быть предсказаны любым человеком, обладающим достаточными знаниями о силах и достаточными математическими навыками для разработки их последствий.

Независимо от того, адекватна эта концепция материальной вселенной или нет, она, несомненно, оказала очень важное влияние на научные открытия, а также на философскую мысль, и хотя она никогда не была сформулирована Ньютоном, и некоторые ее части, вероятно, были бы им отвергнуты, есть указания на то, что некоторые такие идеи были у него в голове, и те, кто придерживался этой концепции наиболее твердо, несомненно, заимствовали свои идеи прямо или косвенно у него.

195. Научный метод Ньютона по существу не отличался от того, которому следовал Галилей (глава VI,§ 134), который по-разному описывался как **полная индукция** или как **обратный дедуктивный метод**, разница в названии соответствует разнице в напряжении, уделяемом различным частям одного и того же общего процесса. Факты получены путем наблюдения или эксперимента; для их объяснения разрабатывается гипотеза или предварительная теория; из этой теории извлекаются, по возможности с помощью строгого процесса дедуктивных рассуждений, определенные следствия, которые можно сравнить с реальными фактами, и затем проводится сравнение. В некоторых случаях первый процесс может показаться более важным, но в работе Ньютона действительно убедительная часть доказательства его результатов заключалась в проверке, связанной с двумя последними процессами. Возможно, это было несколько затемнено его знаменитым замечанием,*Hypotheses non fingo* (Я не выдумываю гипотезы), вырванным из контекста. Эти слова встречаются в заключении "*Principia*" после того, как он заговорил о всемирном тяготении: —

“Я еще не смог вывести (*deducere*) из явлений причину этих свойств тяготения, и я не выдумываю гипотез. Ибо все, что не может быть выведено из явлений, следует называть гипотезой”.

Ньютон, вероятно, имел в виду такие предположения, как декартовы вихри, которые не могли быть выведены непосредственно из наблюдений и последствия которых либо не могли быть проработаны и сопоставлены с реальными фактами, либо были несовместимы с ними. Ньютон фактически отвергал гипотезы, которые не поддавались проверке, но он постоянно выдвигал

гипотезы, основанные на наблюдаемых фактах и проверяемые согласованием их следствий со свежими наблюдаемыми фактами. Распространение силы тяжести на Луну (§ 173) является хорошим примером: он был знаком с определенными фактами, касающимися движения падающих тел и движения Луны; ему пришло в голову, что притяжение земли может распространяться до Луны, а некоторые другие факты, связанные с Третьим законом Кеплера, наводили на мысль о законе обратного квадрата. Если бы это было верно, ускорение Луны по отношению к земле должно было бы иметь определенное значение, которое можно было бы получить расчетным путем. Расчет был произведен, и оказалось, что он примерно соответствует фактическому движению Луны.

Более того, в качестве иллюстрации огромной важности процесса проверки можно справедливо утверждать, что фундаментальные законы Ньютона не были им строго установлены, но недостатки в его доказательствах были в значительной степени восполнены в результате продолжающегося с тех пор сложного процесса проверки. Ибо движения солнечной системы, выведенные Ньютоном из гравитации и законов движения, лишь приблизительно согласуются с наблюдениями; было оставлено много выдающихся расхождений; и хотя существовало сильное предположение, что они были вызваны необходимыми несовершенствами ньютоновских вычислительных процессов, потребовались огромные затраты труда и изобретательности со стороны ряда математиков, чтобы устранить эти расхождения одно за другим, и фактически даже сегодня остаются несколько небольших расхождений, которые остаются необъясненными (глава XIII.,§ 290).

ГЛАВА X.
НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ В 18 ВЕКЕ.

“Благодаря Ньютону теория сделала большой шаг вперед и опередила наблюдение; последнее теперь предпринимало усилия, чтобы еще раз сравняться с теорией”. — Бессель.

196. Ньютон фактически создал новый раздел астрономии, **гравитационную астрономию**, как ее часто называют, и завещал своим преемникам задачу более полного, чем это удалось ему, вывода движений небесных тел из их взаимного притяжения.

В решение этой проблемы соотечественники Ньютона практически ничего не внесли на протяжении 18 века, а его истинными преемниками была группа континентальных математиков, чья работа началась вскоре после его смерти, хотя и не раньше, чем почти через полвека после публикации*Principia*.

Эта неспособность британских математиков развить открытия Ньютона может быть объяснена отчасти отсутствием или редкостью людей с реальными способностями, но отчасти также и особенностью математической формы, в которой Ньютон представил свои открытия. *Принципы* почти полностью написаны на языке геометрии, особым образом модифицированном в соответствии с требованиями конкретного случая; почти весь последующий прогресс в

гравитационной астрономии был достигнут с помощью математических методов, известных как **анализ**. Хотя различие между двумя методами может быть полностью оценено только теми, кто использовал их оба, возможно, можно составить некоторое представление о различиях между ними, сказав, что при геометрической трактовке астрономической задачи каждый шаг рассуждения выражается таким образом, чтобы его можно было интерпретировать в терминах исходной задачи, тогда как при аналитической трактовке проблема сначала выражается с помощью алгебраических символов; этими символами манипулируют в соответствии с определенными чисто формальными правилами, не обращая внимания на интерпретацию промежуточных шагов, и конечный алгебраический результат, если он может быть получен, дает при интерпретации результат, соответствующий исходной задаче. решение исходной задачи. Геометрическое решение задачи, если оно может быть получено, часто короче, яснее и элегантнее; но, с другой стороны, каждую специальную задачу приходится рассматривать отдельно, тогда как аналитическое решение может быть проведено в значительной степени в соответствии с установленными правилами, применимыми в большем числе случаев. Во времена Ньютона современный анализ только зарождался, некоторые из наиболее важных его частей на самом деле были творением Лейбница и его самого, и хотя он иногда использовал анализ для решения астрономической задачи, его практикой было переводить результат на геометрический язык перед публикацией; при этом на него, вероятно, в значительной степени повлияло личное предпочтение элегантности геометрических доказательств, отчасти также нежелание увеличивать многочисленные трудности, содержащиеся в*Principia*, используя математические методы, которые были сравнительно незнакомы. Но хотя в руках такого мастера, как Ньютон, геометрические методы были способны давать поразительные результаты, люди поменьше, последовавшие за ним, едва ли когда-либо были способны использовать его методы для получения результатов, превосходящих те, которых достиг он сам. Чрезмерное почтение к Ньютону и всем его способам в сочетании с отчуждением, которое долгое время существовало между британскими и иностранными математиками в результате полемики о потоках (глава IX, § 191), помешало первым использовать аналитические методы, которые быстро совершенствовались учениками Лейбница и другими континентальными математиками. Таким образом, наши математики оставались почти изолированными в течение всего 18 века, и, за исключением замечательной работы*Колина Маклорина* (1698-1746), которая продвинула теорию Ньютона о форме земли еще на ступеньку дальше, в нашей стране в течение почти столетия после смерти Ньютона не было сделано ничего важного для развития теории тяготения за пределы точки, на которой она была оставлена в *Принципах*.

Однако в других областях астрономии был достигнут значительный прогресс как при жизни Ньютона, так и после нее, причем в результате любопытной инверсии, в то время как идеи Ньютона развивались в основном французскими математиками, парижская обсерватория, в которой Пикар и другие проделали такую замечательную работу (глава VIII.,§§ 160-2), почти столетие спустя не имела реального значения, и большая часть лучших наблюдений 18 века была выполнена соотечественниками Ньютона. Будет удобно разделить эти два раздела астрономической работы и в следующей главе рассмотреть развитие теории тяготения.

197. Первым из великих английских наблюдателей был современник Ньютона *Джон Флемстид*, родившийся близ Дерби в 1646 году и умерший в Гринвиче в 1720 году.111 К сожалению, характер его работы был таков, что, поскольку она не была отмечена блестящими открытиями, трудно представить ее в привлекательной форме или дать какое-либо адекватное представление о ее реальном масштабе и важности. Он был одним из тех кропотливых и

тщательных исследователей, результаты работы которых бесценны как материал для последующих исследований, но сами по себе не поражают.

Он провел несколько астрономических наблюдений, будучи совсем мальчиком, и написал несколько статей технического характера на астрономические темы, которые привлекли некоторое внимание. В 1675 году назначен членом Комитета для доклада о методе определения долготы в море, который был предложен правительству неким французом по имени*Сен-Пьер*. Комитет, действуя в основном по совету Флемстида, негативно отозвался о данном методе и увековечил память Карла II. выступал за основание национальной обсерватории, с тем чтобы лучшее знание небесных тел могло привести к разработке удовлетворительного метода определения долготы - проблемы, которая в связи с быстрым ростом английского судоходства приобрела большое практическое значение. Король согласился, и Флемстид в том же году был назначен в новый офис Королевского астронома с зарплатой 100 фунтов стерлингов в год, а ордер на строительство обсерватории в Гринвиче был подписан 12 июня 1675 года. На его строительство ушло около года, и Флемстид поселился там и приступил к работе в июле 1676 года, через пять лет после того, как Кассини приступил к своим обязанностям в Парижской обсерватории (глава VIII.,§ 160). Гринвичская обсерватория, однако, сильно отличалась по масштабам от великолепного сестринского учреждения. Король, это правда, предоставил Флемстиду здание и очень небольшое жалованье, но не снабдил его ни инструментами, ни помощником. Несколькими инструментами он уже владел, еще несколько были подарены ему богатыми друзьями, и постепенно он сделал за свой счет еще несколько важных инструментальных дополнений. Через несколько лет после его назначения правительство предоставило ему “глупого, угрюмого чернорабочего”, чтобы тот помогал ему с некоторыми черными работами, но он был вынужден оказывать более квалифицированную помощь из своего собственного кармана, и эта необходимость, в свою очередь, вынудила его посвятить часть своего драгоценного времени набору учеников.

198. Великой работой Флемстида было составление более точного и более обширного звездного каталога, чем любой из существующих; он также провел ряд наблюдений Луны, солнца и, в меньшей степени, других тел. Подобно Тихо, автору "Последнего великого звездного каталога" (глава V.,§ 107), в ходе его работы постоянно возникали проблемы, которые необходимо было решить, прежде чем можно было достичь его главной цели, и, соответственно, мы обязаны ему изобретением нескольких усовершенствований в практической астрономии, наиболее известным из которых является его метод определения положения первой точки Овна (глава II.,§ 42), одной из фундаментальных точек, относительно которых определяются все положения на небесной сфере. Он был первым астрономом, систематически использовавшим часы для определения одной из двух фундаментальных величин (прямого восхождения), необходимых для определения положения звезды, метод, который был впервые предложен и в некоторой степени использован Пикардом (глава VIII.,§ 157), и, как только он смог достать необходимые инструменты, он регулярно использовал оптические прицелы Гаскойна и Озута (глава VIII., § 155), вместо того, чтобы проводить наблюдения невооруженным глазом. Таким образом, в то время как Хевел (глава VIII., § 153) был последним и наиболее точным наблюдателем старой школы, применявшим методы, по существу не отличающиеся от тех, которые использовались веками, Флемстид принадлежит к новой школе, и его методы отличаются скорее в деталях, чем в принципе, от тех, которые сейчас в моде для аналогичной работы в Гринвиче, Париже или Вашингтоне. Это внедрение новых методов вместе с самой скрупулезной тщательностью в деталях сделало наблюдения

Флемстида значительно более точными, чем любые наблюдения, сделанные в его время или ранее, причем первый определенный прогресс впоследствии был сделан Брэдли (§ 218).

Флемстид выгодно отличался от многих наблюдателей тем, что не просто снимал и записывал наблюдения, но и выполнял утомительный процесс, известный как редукция (§ 218), посредством которого результаты наблюдений облекаются в форму, пригодную для использования другими астрономами; этот процесс обычно выполняется в современных обсерваториях помощниками, но в случае Флемстида должен был выполняться почти исключительно самим астрономом. По этой и другим причинам он крайне медленно публиковал наблюдения; мы уже упоминали (глава IX, § 192) о трудностях, с которыми Ньютон столкнулся, добиваясь от него лунных наблюдений, и через некоторое время ощущение, что цель, ради которой была основана Обсерватория, не выполняется, стало довольно распространенным среди астрономов. Флемстид всегда страдал от плохого здоровья, а также от финансовых и других трудностей, о которых говорилось выше; более того, он гораздо больше беспокоился о том, чтобы его наблюдения не публиковались до тех пор, пока они не станут как можно более точными, чем о том, чтобы они были опубликованы в менее совершенной форме и использованы для исследований, которые он когда-то назвал “мистером Флемстидом". Причуды Ньютона”; следовательно, он высказал замечания по поводу задержки с публикацией своих наблюдений в плохой части. Между Флемстидом, с одной стороны, и Ньютоном и Галлеем - с другой, произошло несколькоболезненных ссор. Последней каплей стала несанкционированная публикация в 1712 году под редакцией Галлея тома наблюдений Флемстида, на что Флемстид, что вполне естественно, ответил, назвав Галлея “злонамеренным вором”. Три года спустя ему удалось раздобыть все непроданные экземпляры и уничтожить их, но, к счастью, это также побудило его подготовить к публикации подлинное издание. *"Целестис Британика"*, как он назвал книгу, содержала огромную серию наблюдений, сделанных как до, так и во время его работы в Гринвиче, но самой важной и неизменно ценной частью был каталог расположения почти 3000 звезд.112

Сам Флемстид прожил ровно столько, чтобы закончить второй из трех томов; третий редактировали его помощники*Абрахам Шарп* (1651-1742) и *Джозеф Кроствейт*; и все это было опубликовано в 1725 году. Четыре года спустя все же появился его ценный Звездный атлас, который долго оставался в общем пользовании.

Каталог был не только в три раза обширнее, чем у Тихо, в чем он практически преуспел, но и намного точнее. Было подсчитано113, что, в то время как определения положений звезд Тихо имели ошибку в среднем около 1', соответствующие ошибки в случае Флемстида составляли около 10". Эта величина представляет собой видимый диаметр шиллинга, видимый с расстояния около 500 ярдов; так что, если бы в противоположных точках на ребре монеты были сделаны две отметки и она была помещена на расстоянии 500 ярдов, эти две отметки можно было бы принять за представление истинного направления средней звезды и ее направления, указанного в каталоге Флемстида. Конечно, в некоторых случаях ошибка может быть намного больше, а в других значительно меньше.

Флемстид не внес в астрономию никаких идей первостепенной важности; у него не было изобретательности Пикара и Ремера в разработке инструментальных усовершенствований, и он мало интересовался теоретическими работами Ньютона;114 но благодаря неослабевающему трудолюбию и скрупулезной осторожности ему удалось завещать своим преемникам огромное

количество наблюдений, выполненных со всей точностью, которую позволяли его инструментальные средства.

199. Флемстида на посту королевского астронома сменил Эдмунд Галлей, с которым мы уже встречались (глава IX, § 176) как с другом и помощником Ньютона.

Родившийся в 1656 году, через десять лет после Флемстида, он изучал астрономию в школьные годы и опубликовал статью об орбитах планет еще в 1676 году. В том же году он отправился на остров Святой Елены (16 ° южной широты), чтобы провести наблюдения за звездами, которые находились слишком близко к южному полюсу, чтобы быть видимыми в Европе. Климат оказался разочаровывающим, и только после возвращения он смог опубликовать (1678) каталог расположения 341 южной звезды, который, однако, стал важным дополнением к точным знаниям о звездах. Каталог был также примечателен тем, что он был первым, основанным на телескопических наблюдениях, хотя наблюдения, по-видимому, не были сделаны со всей точностью, которую обеспечивали его инструменты. Во время своего пребывания на острове Святой Елены он также провел ряд наблюдений за маятником, которые подтвердили результаты, полученные несколькими годами ранее Ричером в Кайенне (глава VIII,§ 161), а также наблюдал прохождение Меркурия через солнце, которое произошло в ноябре 1677 года.

После своего возвращения в Англию он принимал активное участие в решении актуальных научных вопросов, особенно в тех, которые связаны с астрономией, и внес несколько небольших вкладов в эту тему. Как мы видели, в 1684 году он впервые вступил в эффективный контакт с Ньютоном и провел значительную часть следующих нескольких лет, помогая ему с*Principia*.

200. Из его многочисленных вкладов в астрономию, которые затронули почти все области этой науки, его работа о кометах является наиболее известной и, вероятно, самой важной. Он наблюдал кометы 1680 и 1682 годов; он рассчитал траектории как этих, так и ряда других зарегистрированных комет в соответствии с принципами Ньютона и внес значительный вклад в материалы, содержащиеся в разделах*Principia*, посвященных кометам, особенно в более поздних изданиях. В 1705 году он опубликовал *Краткий обзор кометной астрономии*, в котором было рассчитано не менее 24 кометных орбит. Пораженныйсходством траекторий, описанных кометами 1531, 1607 и 1682 годов, и приблизительным равенством интервалов между их соответствующими появлениями и появлением четвертой кометы, замеченной в 1456 году, он был достаточно проницателен, чтобы предположить, что три более поздние кометы, если не все четыре, на самом деле были разными проявлениями одной и той же кометы, которая обращалась вокруг солнца по вытянутому эллипсу за период примерно в 75 или 76 лет. Он объяснил разницу между 76 годами, разделяющими появления кометы в 1531 и 1607 годах, и несколько более коротким периодом, прошедшим между 1607 и 1682 годами, вероятно, из-за возмущений, вызванных планетами, возле которых проходила комета; и, наконец, предсказал вероятное повторное появление той же кометы (которая теперь заслуженно носит его имя) примерно через 76 лет после ее последнего появления, *т.е.* около 1758 года, хотя он снова осознавал, что планетарное возмущение может изменить время ее появления; и фактическое появление кометы примерно в предсказанное время. время (глава XI, § 231) ознаменовало важную эпоху в развитии наших знаний об этих чрезвычайно беспокойных и неустойчивых телах.

201. В 1693 году Галлей зачитал перед Королевским обществом доклад, в котором он обратил внимание на трудность согласования определенных древних затмений с известным движением Луны и упомянул о возможности некоторого небольшого увеличения средней скорости обращения Луны вокруг Земли.

Эта неравномерность, известная теперь как **вековое ускорение среднего движения Луны**, впоследствии была установлена более определенно как факт наблюдения; и трудности, с которыми мы столкнулись при объяснении ее действием силы тяжести, сделали ее одной из самых интересных из многочисленных неравномерностей Луны (см. главу XI,§ 240, и главу XIII, § 287).

202. Галлей также оказал хорошую услугу астрономии, обратив внимание на важность ожидаемых прохождений Венеры через Солнце в 1761 и 1769 годах как средства определения расстояния до солнца. Этот метод был предложен довольно расплывчато Кеплером и более определенно Джеймсом Грегори в его "*Оптике*", опубликованной в 1663 году. Впервые эта идея была предложена Галлею во время его наблюдения за прохождением Меркурия в 1677 году. В трех статьях, опубликованных Королевским обществом, он тепло отзывался о преимуществах этого метода и довольно подробно обсуждал места и средства, наиболее подходящие для наблюдения за транзитом 1761 года. Он указал, что желаемый результат может быть получен из сравнения продолжительности прохождения Венеры, наблюдаемой с разных станций на земле, *т.е.* интервалов между первым появлением Венеры на диске Солнца и окончательным исчезновением, наблюдаемых с двух или более разных станций. Более того, он подсчитал, что этот промежуток времени, который будет длиться несколько часов, может быть измерен с погрешностью всего около двух секунд, и что, как следствие, можно полагаться на метод, позволяющий определить расстояние до солнца с точностью примерно до 1/500 части его истинного значения. Поскольку текущие оценки расстояния до солнца отличались друг от друга на 20-30%, новый метод, изложенный с присущей Галлею ясностью и энтузиазмом, естественно, побудил астрономов приложить немало усилий для выполнения рекомендаций Галлея. Результаты, как мы увидим (§ 227), однако, ни в коем случае не соответствовали ожиданиям Галлея.

203. В 1718 году Галлей обратил внимание на тот факт, что три хорошо известные звезды, Сириус, Процион и Арктур, изменили свои угловые расстояния от эклиптики со времен Греции, и что Сириус даже заметно изменил свое положение со времен Тихо Браге. Более того, сравнение расположения других звезд показало, что изменения нельзя было удовлетворительно отнести к какому-либо движению эклиптики, и хотя он был хорошо осведомлен о том, что возможные ошибки наблюдения были таковы, что вносили значительную неопределенность в соответствующие величины, он был уверен, что такие ошибки не могли полностью объяснить замеченные расхождения, но что рассматриваемые звезды, должно быть, действительно изменили свое положение по отношению к остальным; и он, естественно, сделал вывод, что можно было бы обнаружить аналогичные**собственные движения** (как их теперь называют) у других так называемых “неподвижных” звезд.

204. Он также посвятил много времени постоянной астрономической проблеме улучшения таблиц луны и планет, особенно первых. Он производил наблюдения Луны еще в 1683 году и с их помощью добился некоторого улучшения таблиц. В 1676 году он уже заметил дефекты в существующих таблицах Юпитера и Сатурна и в конечном итоге убедился в существовании

определенных неровностей в движении этих двух планет, о которых давно подозревал Хоррокс (глава VIII., § 156); эти неровности он правильно приписал возмущениям двух планет друг другом, хотя он не был достаточно математиком, чтобы разработать теорию; однако из наблюдений он смог оценить рассматриваемые неровности с достаточной точностью и улучшить таблицы планет, сделав на них поправку. Но ни лунные, ни планетные таблицы так и не были завершены в форме, которую Галлей считал удовлетворительной. К 1719 году они были напечатаны, но не были опубликованы в надежде, что могут быть внесены последующие улучшения. После своего назначения королевским астрономом вместо Флемстида (1720) он уделил особое внимание получению свежих наблюдений для этой цели, но обнаружил, что в Обсерватории практически нет инструментов, поскольку те, которыми пользовался Флемстид, были его частной собственностью и были изъяты как таковые его наследниками или кредиторами. Хотя Галлей раздобыл кое-какие приборы и произвел с их помощью ряд наблюдений, главным образом за Луной, возраст (63 года), в котором он вступил в должность, помешал ему многое инициировать или выполнять свои обязанности с большой энергией, и вследствие этого сделанные наблюдения имели лишь второстепенное значение, в то время как таблицы, для улучшения которых они были специально разработаны, были окончательно опубликованы только в 1752 году, через десять лет после смерти их автора. Хотя они, таким образом, появились через много лет после того, как были практически подготовлены, и мало чем были обязаны прогрессу науки за этот промежуток времени, они сразу же стали и некоторое время оставались стандартными таблицами как для движения Луны, так и планет (см. § 226 и главу XI,§ 247).

205. Замечательная разносторонность Галлея в научной работе дополнительно иллюстрируется трудом, который он затратил на редактирование трудов великого греческого геометра Аполлония (глава II, § 38) и звездного каталога Птолемея (глава II, § 50). Он также был одним из первых современных астрономов, обративших пристальное внимание на эффекты, наблюдаемые во время полного солнечного затмения, и в ярком описании, которое он написал о затмении 1715 года, помимо упоминания таинственной короны, которую Кеплер и другие заметили раньше (глава VII., § 145), он привлек внимание также к “очень узкой полоске темного, но сильного красного света”, которая, очевидно, была частью той замечательной оболочки Солнца, которая так широко изучалась в наше время (глава XIII., § 301) под названием хромосфера.

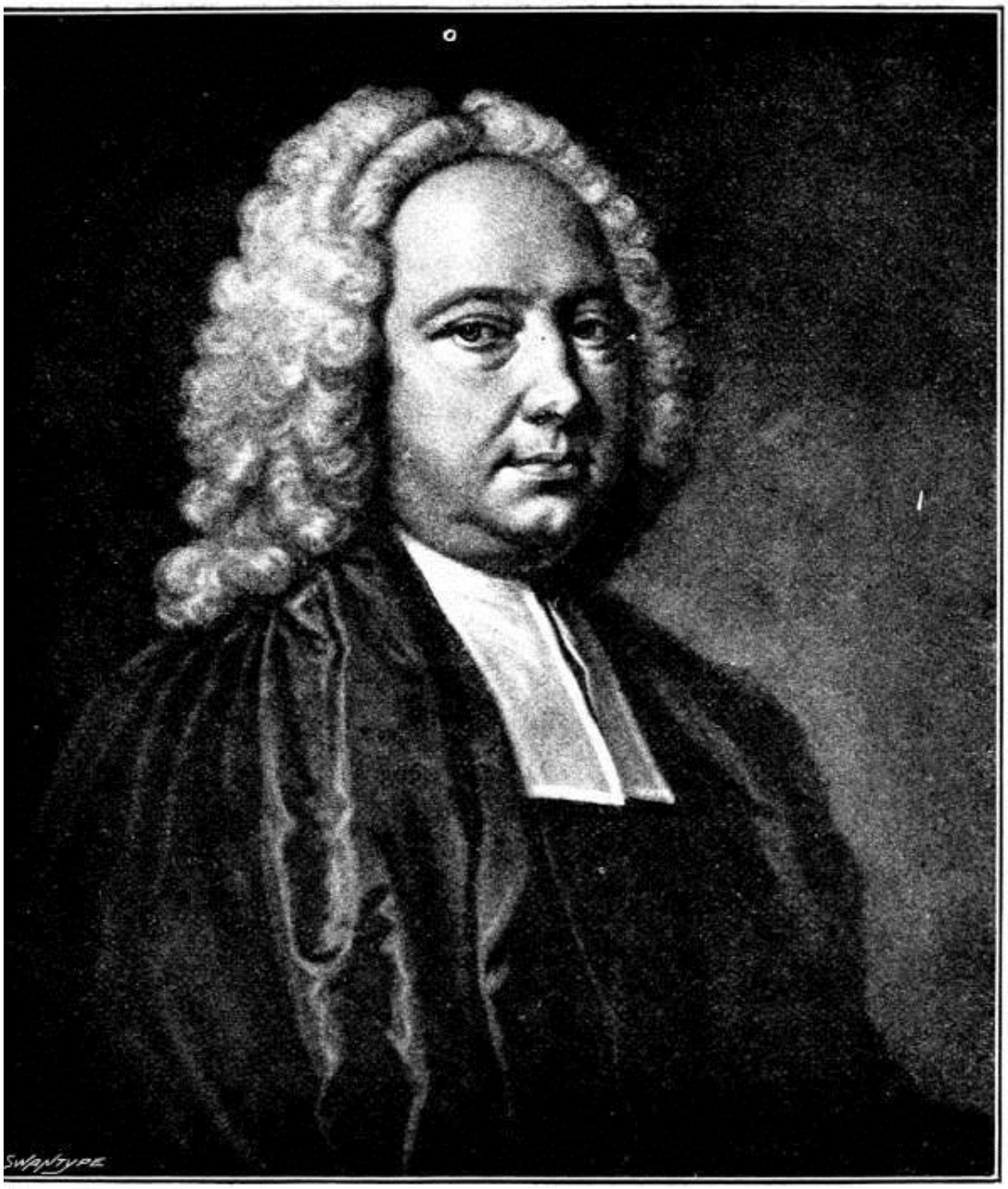
В качестве иллюстрации бескорыстного энтузиазма Галлея к науке и его способности заглядывать в будущее стоит отметить, что две его наиболее важные работы, благодаря которым он, безусловно, сейчас наиболее известен, неизбежно появились при его жизни как малоценные и принесли свои плоды только после его смерти (1742), поскольку его комета вернулась только в 1759 году, когда он был мертв 17 лет, а первый из пары транзитов Венеры, по которым он показал, как определять расстояние до солнца, произошел двумя годами позже. все еще (§ 227).

206. Третий королевский астроном, *Джеймс Брэдли*, широко известен как автор двух запоминающихся открытий, *а именно*. аберрация света и нутация земной оси. Какими бы замечательными они ни были как сами по себе, так и благодаря остроумным и тонким рассуждениям и точнейшим наблюдениям, с помощью которых они были сделаны, на самом деле они были эпизодами в долгой и активной астрономической карьере, результатом которой стало выполнение огромного объема работы огромной ценности.

Внешние события жизни Брэдли можно описать очень кратко. Родившийся в 1693 году, он в свое время поступил в Оксфорд (бакалавр 1714 г., магистр 1717 г.), но свои первые познания в астрономии и заметный вкус к этому предмету приобрел у своего дяди*Джеймса Паунда*, в течение многих лет ректора Уонстеда в Эссексе, который был одним из лучших наблюдателей того времени. Брэдли прожил со своим дядей несколько лет после окончания Оксфорда и совместно с ним провел ряд наблюдений. Первое зарегистрированное наблюдение Брэдли датировано 1715 годом, и к 1718 году о нем достаточно хорошо думали в научном мире, чтобы удостоиться чести избрания членом Королевского общества. Но, как замечает его биограф115 “невозможно было предвидеть, что его астрономические труды приведут к какому-либо становлению в жизни, и ему стало необходимо выбрать профессию”. Соответственно, он принял приказы, и ему посчастливилось почти сразу получить два вида на жительство, обязанности, связанные с которыми, похоже, не слишком мешали его астрономическим занятиям в Уонстеде.

В 1721 году он был назначен савилианским профессором астрономии в Оксфорде и ушел в отставку. Профессорская работа, по-видимому, была очень легкой, и более десяти лет он продолжал проживать в основном в Ванстеде, даже после смерти своего дяди в 1724 году. В 1732 году он снял дом в Оксфорде и установил там большую часть своих инструментов, оставив, однако, в Уонстеде самый важный из всех - "зенитный сектор”, с помощью которого были сделаны два его знаменитых открытия. Десять лет спустя смерть Галлея сделала должность Королевского астронома вакантной, и Брэдли получил это назначение.

Последние несколько лет своей жизни Галлей во многом пренебрегал работой Обсерватории, и первой заботой Брэдли было произвести необходимый ремонт инструментов. Хотя оснащение Обсерватории инструментами, достойными ее положения и состояния науки в то время, потребовало многих лет работы, Брэдли привел некоторые из наиболее важных инструментов в исправное состояние уже через несколько месяцев после своего назначения, и с тех пор наблюдения проводились систематически. Хотя оставшиеся 20 лет его жизни (1742-1762) были в основном потрачены в Гринвиче на выполнение служебных обязанностей и связанные с ними исследования, он сохранил свою профессорскую должность в Оксфорде и продолжал проводить наблюдения в Ванстеде, по крайней мере, до 1747 года.



БРЭДЛИ.

[*Лицом к лицу, стр. 258.*

207. Открытие аберрации произошло в результате попытки обнаружить параллактическое смещение звезд, которое должно быть результатом годового движения Земли. С тех пор как спор о Копернике привлек внимание к важности проблемы (см. главу IV,§ 92 и главу VI, § 129), он, естественно, привлекал умы астрономов-наблюдателей, многие из которых пытались обнаружить рассматриваемое движение, и некоторые из них (включая "универсального претендента" Гука) заявляли, что им это удалось. На самом деле, однако, все предыдущие попытки были неудачными, и Брэдли был не более успешен, чем его предшественники в этом

конкретном начинании, но смог вывести из своих наблюдений два результата, представляющих большой интерес и носящих совершенно неожиданный характер.

Задача, которую поставил перед собой Брэдли, заключалась в том, чтобы выяснить, можно ли увидеть, что какая-либо звезда в течение года слегка движется относительно других или относительно неподвижных точек на небесной сфере, таких как полюс. Было известно, что такое движение, если оно существует, должно быть очень небольшим, и поэтому было очевидно, что необходимо применять крайнюю деликатность при настройке инструментов и величайшую осторожность при наблюдении. Сначала Брэдли работал совместно со своим другом*Сэмюэлем Молине* (1689-1728), который установил телескоп в Кью. В соответствии с методом, принятым в аналогичном исследовании Гука, результаты которого было желательно проверить, телескоп был установлен в почти вертикальном положении, выбранном таким образом, чтобы определенная звезда в созвездии Дракона (γ Draconis) была видна через него, когда она пересекала меридиан, и телескоп был установлен с большой осторожностью, чтобы поддерживать неизменное положение в течение всего года. Если бы тогда рассматриваемая звезда подверглась какому-либо движению, которое изменило бы ее расстояние от полюса, произошло бы соответствующее изменение положения, в котором она была бы видна в поле зрения телескопа. Первые наблюдения были сделаны 14 декабря 1725 года (н.Э.), и к 28 декабря Брэдли полагал, что он уже заметил небольшое смещение звезды к югу. Это движение было четко подтверждено 1 января, а затем наблюдалось продолжение; в следующем марте звезда достигла своего крайнего южного положения, а затем снова начала двигаться на север. В сентябре он еще раз изменил направление своего движения, а к концу года завершил цикл своих изменений и вернулся в исходное положение, причем наибольшее изменение положения составило почти 40 футов.

Таким образом, наблюдалось, что звезда совершает *некоторое* годовое движение. Однако Брэдли сразу стало очевидно, что это движение не было тем параллактическим движением, которое он искал, поскольку положение звезды было таким, что при параллаксе она была бы видна дальше всего к югу в декабре и дальше всего к северу в июне, или в каждом случае на три месяца раньше, чем это имело место при фактических наблюдениях. Другое объяснение, которое напрашивалось само собой, состояло в том, что земная ось могла совершать колебательные движения взад-вперед или нутацию, которые изменяли положение небесного полюса и, следовательно, приводили к соответствующему изменению положения звезды. Такое движение небесного полюса, очевидно, произвело бы противоположные эффекты на две звезды, расположенные по разные стороны от него, поскольку любое движение, которое приближает полюс к одной звезде такой пары, неизбежно отдаляет его от другой. В течение двух недель после решающего наблюдения, проведенного 1 января, звезда116 уже была выбрана для применения этого теста, с результатом, который лучше всего можно передать словами самого Брэдли:

“Нутация земной оси была одной из первых вещей, которые представились в этом случае, но вскоре выяснилось, что ее недостаточно; ибо, хотя она могла бы объяснить изменение склонения γ Дракона, все же в то же время она не соответствовала бы явлениям других звезд; особенно маленькой звезды, почти противоположной по прямому восхождению γ Дракона, примерно на том же расстоянии от северного полюса экватора: ибо, хотя эта звезда, казалось, двигалась так же, как это сделала бы нутация земной оси, она не соответствовала бы явлениям других звезд. тем не менее, она меняет свое склонение

примерно вдвоебольше, чем γ Дракона за то же время (как выяснилось при сравнении наблюдений обоих, сделанных в одни и те же дни в разные сезоны года), это ясно доказывает, что видимое движение звезд не было вызвано реальной нутацией, поскольку, если бы это было причиной, изменения в обеих звездах были бы почти одинаковыми ”.

Одно или два других объяснения были проверены и признаны недостаточными, и в результате серии наблюдений, длившихся около двух лет, рассматриваемое явление, хотя и было полностью установлено, все еще оставалось совершенно необъяснимым.

К этому времени Брэдли установил в Уонстеде свой прибор, устроенный таким образом, что с его помощью можно было наблюдать движение звезд, отличных от γ Дракона.

За несколькими звездами внимательно наблюдали в течение года, и полученные таким образом наблюдения дали Брэдли довольно полное представление о геометрических законах, согласно которым движения изменялись как от звезды к звезде, так и в течение года.

208. Истинное объяснение **аберрации**, как впоследствии назвали рассматриваемое явление, по-видимому, пришло ему в голову примерно в сентябре 1728 года и было опубликовано Королевскому обществу после некоторой дополнительной проверки в начале следующего года. Согласно хорошо известной истории,117 во время плавания по Темзе он заметил, что флюгер на верхушке мачты, казалось, менял свое направление каждый раз, когда лодка меняла курс, и моряки сообщили ему, что это изменение было вызвано не каким-либо изменением направления ветра, а изменением курса лодки. На самом деле видимое направление ветра, показанное флюгером, не было истинным направлением ветра, а являлось результатом сочетания движений ветра и лодки, точнее, движения ветра *относительно* лодки. Заменив в воображении ветер светом, исходящим от звезды, а лодку, меняющую курс, - землей, вращающейся вокруг Солнца и постоянно меняющей направление своего движения, Брэдли пришел к объяснению, которое, как оказалось, при детальной проработке наиболее удовлетворительно объясняет видимые изменения в направлении звезды, которую он изучал. Его собственный отчет по этому поводу таков: —

Наконец я предположил, что все упомянутые до сих пор явления проистекают из поступательного движения света и ежегодного движения Земли по своей орбите. Ибо я понял, что если бы свет распространялся во времени, видимое местоположение неподвижного объекта не было бы таким же, когда глаз находится в состоянии покоя, как когда он движется в любом другом направлении, кроме направления линии, проходящей через глаз и объект; и что когда глаз движется

в разных направлениях видимое местоположение объекта было бы разным.

“Я рассмотрел этот вопрос следующим образом. Я представил себе Ca как луч света, падающий перпендикулярно линии Bd; тогда, если глаз находится в состоянии покоя в точке A, объект должен появиться в направлении Ac, независимо от того, распространяется ли свет во времени или в одно мгновение. Но если глаз движется от B K A, и свет распространяется во времени, со скоростью, чтобы скорость движения глаз, как C A до b a; затем легкий переход от C к A, в то время как глаз перемещается от B к A, что частицы ее помощью которого объект будет различить, когда глаза в своем движении доходит до, B C, когда глазнаходится на Б. вступление

в пункты B, C, Я предположил, что строки с B, чтобы быть пробки (склоняюсь к линии B, D на угол д б) такого диаметра, чтобы признавать, но одна частица света; тогда легко было представить себе, что частицы света в C (по которой объект следует рассматривать, когда глаза, как он движется, прибывает в) будет проходить через трубу Б, если он склонен к Б Д в угол, Д Б, и сопровождает глаз при своем движении из Б В А; А что вы не сможете прийти на глаз, расположенный сзади такая труба, если бы любой другой наклона к линии B и т. д....

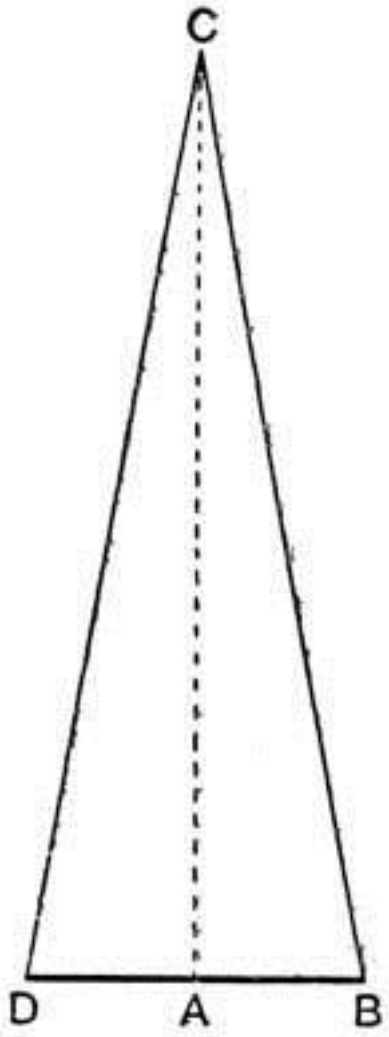


Рис. 74.—Аберрация света. Из статьи Брэдли в*Phil. Пер.*

“Хотя, следовательно, истинное или действительное местоположение объекта перпендикулярно линии, по которой движется глаз, все же видимое место не будет таким, поскольку оно, без сомнения, должно находиться в направлении трубки; но разница между истинным и видимым местом будет (caeteris paribus) больше или меньше, в зависимости от различного соотношения между скоростью света и скоростью глаза. Таким образом, если бы мы могли предположить, что свет распространяется в одно мгновение, то не было бы разницы между реальным и видимым местом объекта, хотя бы глаз находился в движении; ибо в этом случае, поскольку угол Ac бесконечен по отношению к Ab, угол Ac B (разница между истинным и

видимым местом) исчезает. Но если свет распространяется во времени (что, яполагаю, большинство философов нашего века с готовностью допустят), то из приведенных выше соображений очевидно, что всегда будет разница между реальным и видимым расположением объекта, если только глаз не движется непосредственно к объекту или от него ”.

Объяснение Брэдли показывает, что видимое положение звезды определяется движением света звезды *относительно* земли, так что звезда кажется немного ближе к точке на небесной сфере, к которой движется земля, чем это было бы в противном случае. Знакомая иллюстрация точно аналогичного эффекта, возможно, окажется полезной. Любой человек, гуляющий в дождливый, но безветренный день, наиболее эффективно защищает себя, держа зонтик не непосредственно над головой, а немного впереди, точно так же, как он делал бы, если бы находился в состоянии покоя и ему в лицо дул легкий ветерок. На самом деле, если бы он проигнорировал свое собственное движение и обратил внимание только на направление, в котором счел целесообразным направить свой зонт, он бы поверил, что легкий встречный ветер дует в его сторону.

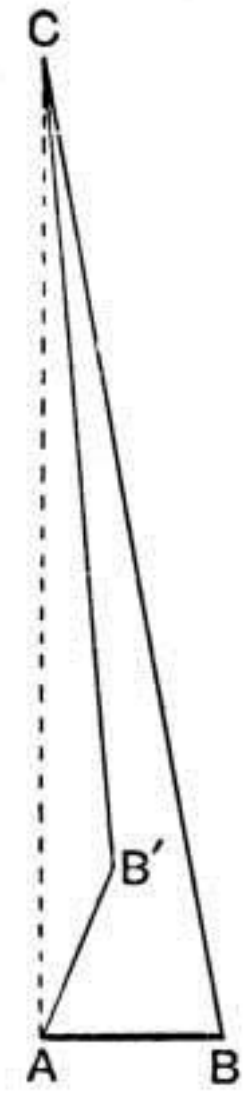


Рис. 75.Аберрация света.

209. Цитируемый отрывок из статьи Брэдли касается только простого случая, когда звезда находится под прямым углом к направлению движения Земли. В другом месте он показывает, что если звезда движется в любом другом направлении, эффект будет того же рода, но меньшего масштаба. На рисунке Брэдли (рис. 74) величина смещения звезды от ее истинного положения представлена углом Bc A, который зависит от соотношения между линиями Ac и Ab; но если (как на рис. 75) земля движется (без изменения скорости) в направлении A B' вместо A B, так что направление звезды наклонено к ней, из рисунка видно, что смещение звезды, представленное углом A C B', меньше, чем раньше; и величина изменяется в соответствии с простым математическим законом118 в зависимости от угла между двумя направлениями. Отсюда следует, что рассматриваемое смещение различно для разных звезд, как уже показали наблюдения Брэдли, и, более того, различно для одной и той же звезды в течение года, так что кажется, что звезда описывает кривую, очень близкую к эллипсу (рис. 76), центр (ы) которой соответствует положению, которое звезда занимала бы, если бы аберрации не существовало. Нетрудно видеть, что, где бы ни находилась звезда, движение земли происходит дважды в год с интервалом в шесть месяцев под прямым углом к направлению звезды, и что в это время звезда получает максимально возможное смещение от своего среднего положения и, следовательно, находится на концах наибольшей оси эллипса, который она описывает, как в точках A и A', тогда как в промежуточные моменты времени она претерпевает наименьшее смещение, как в точках B и B'. Наибольшее смещение Sa, или половина Aa', которое одинаково для всех звезд, известно как **постоянная аберрации**, и было зафиксировано Брэдли на уровне от 20" до 20-1/2", значение, принятое в настоящее время равным 20"·47. С другой стороны, было показано, что наименьшее смещение, Sb, или половина Bb', простым образом зависит от расстояния звезды от эклиптики и является наибольшим для звезд, наиболее удаленных от эклиптики.

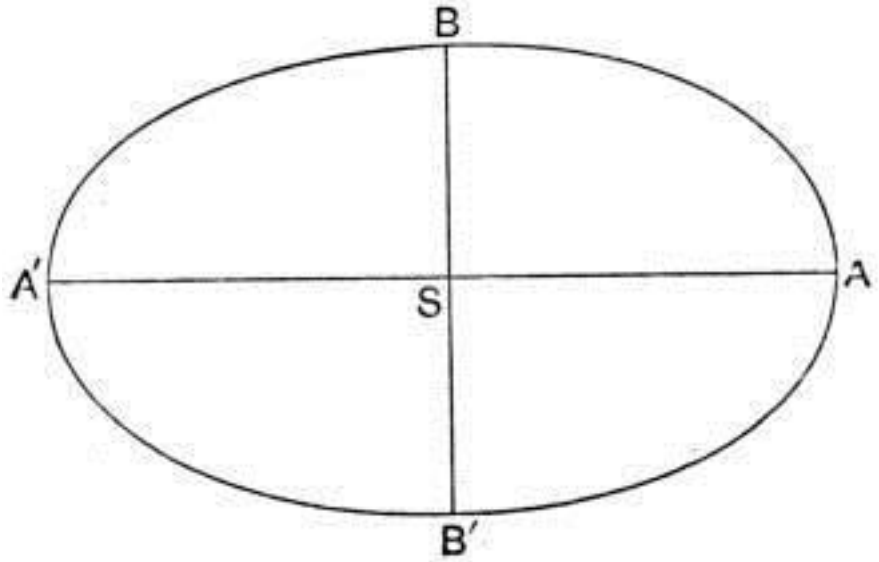


Рис. 76.— аберрационный эллипс.

210. Постоянная аберрации, которая представлена углом Ac B на рис. 74, зависит только от соотношения между Ac и Ab, которые, в свою очередь, пропорциональны скоростям света и земли. Наблюдения аберрации дают тогда соотношение этих двух скоростей. Из значения постоянной аберрации Брэдли путем простого расчета следует, что скорость света примерно в 10 000 раз больше скорости земли; Брэдли также облек этот результат в форму, согласно

которой свет проходит от солнца до земли за 8 минут 13 секунд. Из наблюдений за затмениями спутников Юпитера Ремер и другие оценили тот же интервал в от 8 до11 минут (глава VIII,§ 162); и Брэдли, таким образом, смог получить удовлетворительное подтверждение истинности своего открытия. После установления аберрации тот же расчет может быть использован для получения наиболее точного измерения скорости света в терминах размеров земной орбиты, причем определение аберрации требует значительно большей точности, чем соответствующие измерения, требуемые для метода Ремера.

211. Заслуживает упоминания одна трудность в теории аберрации. Собственное объяснение Брэдли, процитированное выше, относится к свету как к материальной субстанции, испускаемой звездой или другим светящимся телом. Это соответствовало корпускулярной теории света, которая опиралась на огромный авторитет Ньютона и была общепринятой в 18 веке. Современные физики, однако, полностью отказались от корпускулярной теории и рассматривают свет как особую форму волнового движения, передаваемого через эфир. С этой точки зрения объяснение Брэдли и приведенные физические иллюстрации гораздо менее убедительны; фактически, этот вопрос становится вопросом значительной сложности, и нельзя сказать, что самое тщательное и изощренное из современных исследований было бы полностью удовлетворительным. Можно сделать любопытный вывод, что, если бы во времена Брэдли преобладали более правильные современные представления о природе света, ему, должно быть, было бы гораздо труднее, если не невыполнимо, придумать свое объяснение движения звезд, которое он изучал; и таким образом, ошибочная теория привела к важнейшему открытию.

212. Брэдли, конечно, не забыл о первоначальном объекте своего расследования. Однако он убедился, что совпадение между наблюдаемыми положениями γ Дракона и теми, которые возникли в результате аберрации, было настолько близким, что любое смещение звезды из-за параллакса, которое могло существовать, безусловно, должно быть меньше 2 " и, вероятно, не более 1/2", так что большой параллакс, составляющий почти 30", который, как утверждал Гук, был обнаружен, безусловно, должен быть отвергнут как ошибочный.

Однако с точки зрения полемики Копперника открытие Брэдли было почти таким же хорошим, как открытие параллакса; поскольку, если бы земля находилась в состоянии покоя, аберрации нельзя было бы дать ни малейшего правдоподобного объяснения.

213. Полученное таким образом тесное соответствие между теорией и наблюдениями удовлетворило бы астронома менее точного и осторожного, чем Брэдли. Но в своей работе об аберрации (1729) мы находим, что он пишет: —

“Я также встречался с некоторыми небольшими различиями в склонении других звезд в разные годы, которые, по-видимому, не проистекают из одной и той же причины.... Но происходят ли эти небольшие изменения по обычной причине или вызваны какими-либо изменениями в материалах и т.д. Моего инструмента, я пока не могу полностью определить ”.

Полученная таким образом тонкая подсказка была тщательно изучена и привела ко второму поразительному открытию, которое представляет собой одну из самых красивых иллюстраций важных результатов, которые можно вывести из изучения "остаточных явлений”. Аберрация заставляет звезду проходить циклическую серию изменений в течение года; следовательно,

если в конце года обнаруживается, что звезда не вернулась на свое первоначальное место, необходимо искать какое-то другое объяснение этого движения. Одной из известных причин такого изменения была прецессия; но Брэдли обнаружил в конце серии своих наблюдений в Ванстеде в течение первого года, что изменения в положениях различных звезд отличались на ничтожную величину (не более 2 ") от тех, которыепроизошли бы в результате обычной оценки прецессии; и что, хотя изменение величины прецессии объясняло бы наблюдаемые движения некоторых из этих звезд, это увеличило бы расхождение в случае других. Нутация, или наклон земной оси, как мы видели (§ 207), уже представлялась ему возможной; и хотя было показано, что она неспособна объяснить основное явление — из-за аберрации, — она могла оказаться удовлетворительным объяснением гораздо меньших остаточных движений. Вскоре Брэдли пришло в голову, что такая нутация может быть вызвана действием Луны, как указывали и наблюдения, и ньютоновское объяснение прецессии:—

"Я подозревал, что воздействие Луны на экваториальные части Земли может вызвать эти эффекты: ибо, если прецессия равноденствия, согласно принципам сэра Исаака Ньютона, вызвана действием солнца и луны на эти части, причем плоскость лунной орбиты в одно время более чем на десять градусов наклонена к плоскости экватора, чем в другое, было разумно заключить, что часть всей годовой прецессии, возникающая в результате ее действия, в разные годы будет различаться по своему количеству; тогда как плоскость эклиптики, в которой солнце появляется в течение года, должна быть отклонена от плоскости экватора более чем на десять градусов. при сохранении всегда почти одинакового наклона к экватору та часть прецессии, которая обусловлена действием Солнца, может быть одинаковой каждый год; и отсюда следует, что, хотя средняя годовая прецессия, исходя из совместных действий солнца и луны, составляла 50", все же кажущаяся годовая прецессия может иногда превышать, а иногда и не дотягивать до этой средней величины, в зависимости от различных положений узлов лунной орбиты".

Ньютон в своем обсуждении прецессии (глава IX, § 188; *Принципы*, книга III, предложение 21) указал на существование небольшой нерегулярности с периодом в шесть месяцев. Но при рассмотрении этого обсуждения влияния солнечного и лунного притяжения на выступающие части земли становится очевидным, что можно было бы ожидать, что различные изменения в положениях солнца и Луны относительно земли приведут к неравномерностям, и что равномерное прецессионное движение, известное из наблюдений и выведенное Ньютоном из теории тяготения, было, так сказать, лишь сглаживанием движения гораздо более сложного характера. За исключением упомянутого намека, Ньютон не делал попыток обсудить эти нарушения, и ни одно из них до сих пор не было обнаружено наблюдением.

Из многочисленных нарушений этого класса, которые в настоящее время известны и которые обычно можно назвать **нутацией**, то, на что указал Брэдли в только что процитированном отрывке, безусловно, является наиболее важным. Как только ему пришла в голову идея о неравномерности, зависящей от положения узлов Луны, он увидел, что было бы желательно наблюдать за движениями нескольких звезд в течение всего периода (около 19 лет), занимаемого узлами Луны при выполнении кругооборота по эклиптике и возвращении в то же положение. Это исследование было успешно проведено между 1727 и 1747 годами с помощью телескопа, установленного в Ванстеде. Когда узлы Луны совершили половину своего оборота, *т.е.* Примерно через девять лет, соответствие между смещениями звезд и изменениями орбиты Луны было настолько близким, что Брэдли был удовлетворен общей правильностью своей

теории, и в 1737 году он сообщил результат в частном порядке Мопертюи (§ 221), с которым у него была некоторая научная переписка. Мопертюи, по-видимому, рассказал об этом другим, но сам Брэдли терпеливо ждал завершения периода, который он считал необходимым для удовлетворительной проверки своей теории, и окончательно опубликовал свои результаты только в начале 1748 года.

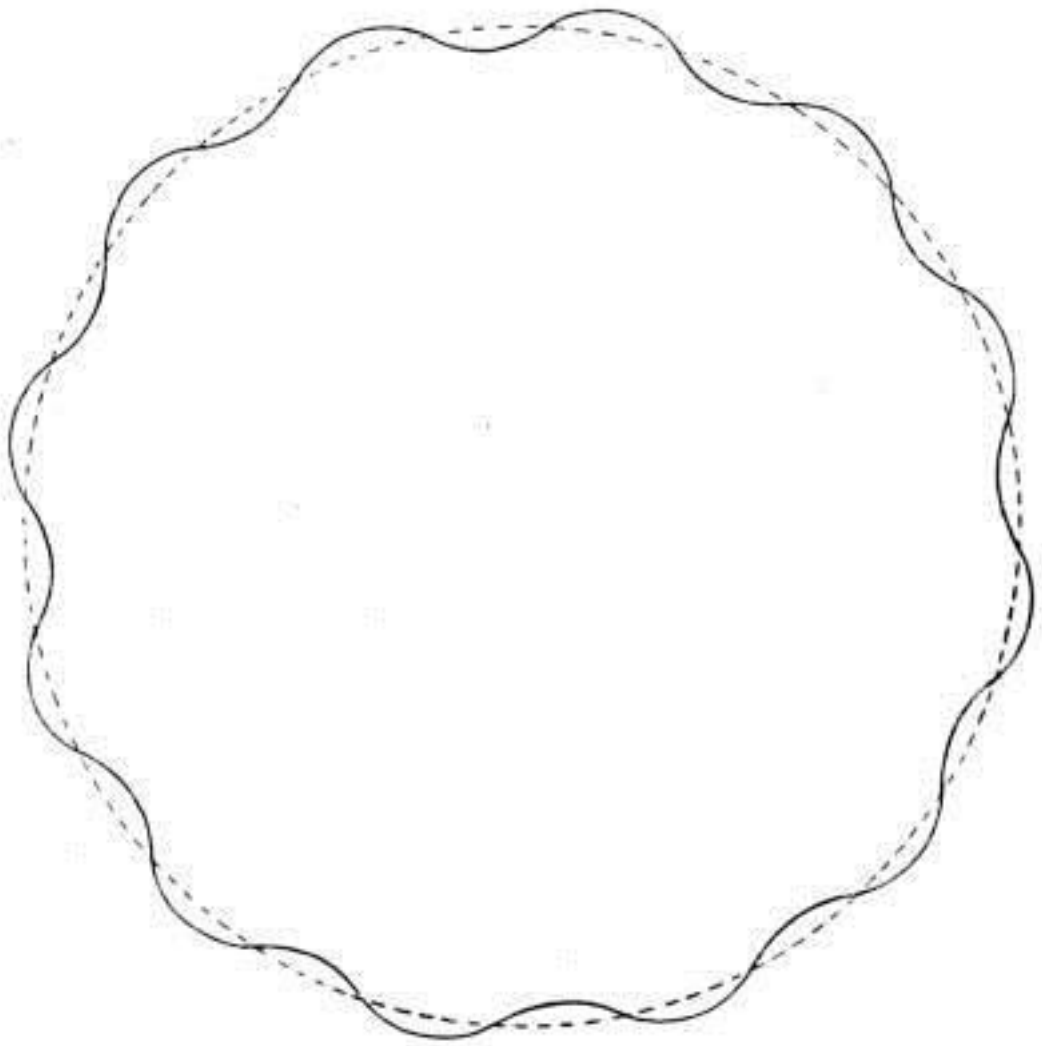


Рис. 77.—Прецессия и нутация.

214. Наблюдения Брэдли установили существование определенных изменений в положениях различных звезд, которые можно объяснить, предположив, что, с одной стороны, расстояние полюса от эклиптики колебалось, а с другой - прецессионное движение полюса было неравномерным, а скорость слегка варьировалась.*Джон Мэчин* (? -1751), один из лучших английских математиков того времени, указал, что эти эффекты были бы получены, если бы предполагалось, что полюс описывает на небесной сфере мельчайший круг за период, значительно меньший, чем 19 лет — период обращения узлов орбиты Луны — вокруг положения, которое он занимал бы, если бы не было нутации, а была равномерная прецессия. Брэдли обнаружил, что эта гипотеза соответствует его наблюдениям, но что было бы лучше

заменить круг слегка сплюснутым эллипсом, наибольшую и наименьшую оси которого он оценил примерно в 18 дюймов и 16 дюймов соответственно.119 Этот эллипс был бы размером примерно с шиллинг, расположенный слегка наклонно на расстоянии 300 ярдов от глаза. Таким образом, было показано, что движение полюса является двойным; в результате объединения прецессии и нутации оно описывает вокруг полюса эклиптики “слегка волнообразное кольцо”, как показано на рисунке, на котором, однако, колебания, вызванные нутацией, сильно преувеличены.

215. Хотя Брэдли знал, что нутация должна быть вызвана действием луны, он предоставил теоретическое исследование ее причины более опытным математикам, чем он сам.

В следующем году (1749) французский математик Д'Аламбер (глава XI, § 232) опубликовал трактат120, в котором в результате тщательного анализа было показано, что не только прецессия, но и движение нутации, тесно совпадающее с тем, которое наблюдал Брэдли, вызвано притяжением Луны к выступающим частям земли вокруг экватора (см. главу IX, § 187), в то время как объяснение прецессии Ньютоном было подтверждено в той же работе . Эйлер (глава XI., § 236) опубликовал вскоре после этого другое исследование того же предмета; и с тех пор оно было заново изучено многими математическими астрономами, в результате чего было установлено, что нутация Брэдли является лишь наиболее важной из длинного ряда мельчайших нарушений в движении земной оси.

216. Хотя аберрация и нутация обсуждались первыми как наиболее важные из открытий Брэдла, другие исследования были проведены им до или в то же время.

Самая ранняя важная работа, которую он выполнил, была связана со спутниками Юпитера. Его дядя уделил много внимания этому предмету и составил несколько таблиц, касающихся движения первого спутника, которые были основаны на таблицах Доменико Кассини, но содержали множество улучшений. Брэдли, по-видимому, в течение нескольких лет часто наблюдал затмения спутников Юпитера и отмечал расхождения между наблюдениями и таблицами; таким образом, он смог обнаружить несколько доселе незамеченных особенностей в движениях и, таким образом, составить улучшенные таблицы. Самым интересным открытием был период в 437 дней, после которого движения трех внутренних спутников возобновились с теми же нерегулярностями. Брэдли, как и Паунд, использовал предположение Ремера (глава VIII,§ 162) о том, что свету требуется конечное время для прохождения от Юпитера до земли, теорию, которую Кассини и его школа долгое время отвергали. Таблицы Брэдли спутников Юпитера были включены в планетарные и лунные таблицы Галлея, напечатанные в 1719 году, но опубликованные более чем через 30 лет (§ 204). До этой даты шведский астроном *Пер Вильгельм Варгентин* (1717-1783) независимо обнаружил период в 437 дней, который он использовал для построения чрезвычайно точного набора таблиц для спутников, опубликованного в 1746 году.

В этом случае, как и в случае с нутацией, Брэдли знал, что его математические способности были недостаточны для объяснения принципов тяготения неравенств, которые были открыты ему наблюдением, хотя он был хорошо осведомлен о важности такого начинания и определенно выразил надежду, “что какой-нибудь геометр,121 в подражание великому Ньютону, применит себя к исследованию этих неправильностей, исходя из определенных и наглядных принципов тяготения”.

С другой стороны, в 1726 году он нашел интересное практическое применение своим превосходным знаниям о спутниках Юпитера[r], определив в соответствии с методом Галилея (глава VI, § 127), но с замечательной точностью, долготы Лиссабона и Нью-Йорка.

217. Среди второстепенных работ Брэдли можно упомянуть его наблюдения за несколькими кометами и расчет их соответствующих орбит по методу Ньютона; построение улучшенных таблиц преломления, которые использовались почти столетие; участие в экспериментах с маятником, проведенных в Англии и на Ямайке с целью проверки изменения силы тяжести в разных широтах; тщательную проверку лунных таблиц Майера (§ 226) вместе с их усовершенствованиями; и, наконец, некоторую работу в связи с реформой календаря, проведенной в 1752 году (ср. главу II., § 22).

218. Остается дать некоторый отчет о великолепной серии наблюдений, проведенных во время руководства Брэдли Гринвичской обсерваторией.

Эти наблюдения делятся на две основные категории неодинаковых достоинств, причем наблюдения после 1749 года были сделаны с помощью некоторых более точных инструментов, которые в то время ему позволил приобрести грант от правительства.

Основная работа обсерватории под руководством Брэдли заключалась в проведении наблюдений за неподвижными звездами и, в меньшей степени, за другими телами, когда они проходили меридиан, поскольку используемые инструменты (“фресковый квадрант“ и ”транзитный инструмент") были способны двигаться только в меридиане и, следовательно, были более устойчивыми и подверженными большей точности, чем те, которые обладали большей свободой передвижения. Наиболее важные наблюдения, сделанные в 1750-1762 годах, общим числом около 60 000, были опубликованы спустя много времени после смерти Брэдли в двух больших томах, которые вышли в 1798 и 1805 годах. Некоторые из них ранее использовались в качестве основы небольшого звездного каталога, опубликованного в "*Морском альманахе"* за 1773 год; но только в 1818 году публикация "*Fundamenta Astronomiae" Бесселя* (глава XIII, § 277), каталога из более чем 3000 звезд, основанного на наблюдениях Брэдли, сделала эти наблюдения полностью доступными для астрономической работы. Одну из причин этой явно чрезмерной задержки следует искать в способах работы Брэдли. Уже делались ссылки на целый ряд причин, которые не позволяют видимому местоположению звезды, видимому в телескоп и отмеченному в то время, быть удовлетворительной постоянной записью ее положения. Существуют различные инструментальные ошибки и ошибки, вызванные рефракцией; опять же, если сравнивать положение звезды в два разных момента времени, необходимо учитывать прецессию; и сам Брэдли обнаружил в аберрации и нутации два новых источника ошибок. Следовательно, для приведения в форму, удовлетворительную для постоянной привязки, ряда наблюдений за звездами необходимо внести исправления, которые позволят учесть эти различные источники ошибок. Этот процесс **сокращения**, как его технически называют, включает в себя определенное количество довольно утомительных вычислений, и хотя в современных обсерваториях этот процесс настолько систематизирован, что его можно выполнять почти по установленным правилам сравнительно неквалифицированными помощниками, во времена Брэдли это требовало большей осмотрительности, и сомнительно, что его помощники могли бы выполнить работу удовлетворительно, даже если бы их время не было полностью занято другими обязанностями. Сам Брэдли, вероятно, находил необходимые вычисления утомительными и предпочитал

посвящать свою энергию работе более высокого порядка. Это правда, что Деламбр, известный французский историк астрономии, уверяет своих читателей, что он никогда не находил сокращение наблюдений утомительным, если выполнял их в один и тот же день, но одного взгляда на любую из его книг достаточно, чтобы показать его необычайную любовь к длинным расчетам довольно элементарного характера, и, несомненно, Брэдли не единственный астроном, вкусы которого в этом отношении коренным образом отличались от вкусов Деламбра. Более того, сокращение объема наблюдений обычно оказывается обязанностью, которую, как и ответы на письма, становится труднее выполнять по мере того, как ею дольше пренебрегают; и астроному не только менее интересно, но и гораздо труднее удовлетворительно относиться к чужим наблюдениям, чем к своим собственным. Поэтому неудивительно, что после смерти Брэдли прошло немало времени, прежде чем появился астроном, обладающийнавыками и терпением, необходимыми для полного сокращения 60 000 наблюдений Брэдли.

Целый ряд обстоятельств в совокупности сделали наблюдения Брэдли явно превосходящими наблюдения его предшественников. Очевидно, он в значительной степени обладал личными характеристиками — зрением и рассудительностью, — которые делают первоклассного наблюдателя; его приборы были установлены самым известным способом для обеспечения точности и сконструированы самыми искусными мастерами; он взял за правило очень тщательно изучать дефекты своих инструментов и учитывать их; его открытия аберраций и нутаций позволили ему избежать источников ошибок, достигающих значительного количества секунд, которых его предшественники могли избежать лишь несовершенно, взяв среднее значение по ряду наблюдений; а его усовершенствованные таблицы рефракции еще больше увеличили количество ошибок. правильность его результатов.

По оценкам Бесселя, ошибки в наблюдениях Брэдли склонения звезд обычно составляли менее 4 дюймов, в то время как соответствующие ошибки при прямом восхождении, величина, которая в конечном счете зависит от наблюдения во времени, составляли менее 15 дюймов, или одной секунды времени. Таким образом, его наблюдения показали значительный прогресс в точности по сравнению с наблюдениями Флемстида (§ 198), которые представляли собой лучшее, что было сделано до сих пор.

219. Следующим королевским астрономом был *Натаниэль Блисс* (1700-1764), который умер через два года. Его, в свою очередь, сменил *Невил Маскелайн* (1732-1811), который почти полвека продолжал традицию точных наблюдений, заложенную Брэдли в Гринвиче, и внес некоторые усовершенствования в методы.

Ему также принадлежит первая серьезная попытка измерить плотность, а следовательно, и массу Земли. Сравнивая притяжение, оказываемое землей, с притяжением Солнца и других тел, Ньютон, как мы видели (глава IX,§ 185), смог связать массы нескольких небесных тел с массой земли. Связать массу всей земли с массой данного земного тела и таким образом выразить ее в фунтах или тоннах было проблемой совершенно иного рода. Конечно, можно исследовать участки земной поверхности и сравнить их плотность с плотностью, скажем, воды; затем сделать некоторое предположение, основанное на грубых наблюдениях в шахтах и т.д., Относительно скорости, с которой плотность увеличивается по мере продвижения от поверхности к центру земли, и, следовательно, вывести среднюю плотность земли. Таким

образом, масса всей земли сравнивается с массой водного шара того же размера и, поскольку размер известен, выражается в фунтах или тоннах.

С помощью процесса такого рода Ньютон действительно с необычайной проницательностью подсчитал, что плотность земли в пять-шесть раз больше плотности воды.122

Однако было явно желательно решить проблему менее гипотетическим способом, путем прямого сравнения гравитационного притяжения, создаваемого землей, с притяжением, создаваемым известной массой, — метод, который в то же время позволил бы провести ценную проверку теории Ньютона о тяготеющих свойствах частей земли в отличие от земли в целом. В своей перуанской экспедиции (§ 221) Бугер и Ла Кондамин заметили определенные небольшие отклонения отвеса, которые указывали на достопримечательность Чимборасо, вблизи которой они работали; но наблюдения были слишком неопределенными, чтобы на них можно было положиться. Маскелайн выбрал для своей цели Шахаллиен в Пертшире, узкий горный хребет, протянувшийся с востока на запад. Направление отвеса наблюдалось (1774) с каждой стороны хребта, и было обнаружено, что измененианаправления примерно на 12 дюймов вызвано притяжением горы. Поскольку направление отвеса зависит от притяжения земли в целом и от притяжения горы, это отклонение сразу же привело к сравнению двух притяжений. Следовательно, сложный расчет, выполненный*Чарльзом Хаттоном* (1737-1823), привел к сравнению средних плотностей земли и гор и, следовательно, к окончательному выводу (опубликованному в 1778 году), что плотность земли примерно в 4-1 / 2 раза выше плотности воды. Поскольку оценка Хаттоном плотности горы, по общему признанию, была почти предположительной, этот результат, конечно, был соответственно неопределенным.

Несколько лет спустя *Джон Мичелл* (1724-1793) предложил, а знаменитый химик и электрик *Генри Кавендиш* (1731-1810) провел (1798) эксперимент, в котором гора была заменена парой тяжелых шаров, и их притяжение к другому телу сравнивалось с притяжением Земли, в результате чего было обнаружено, что плотность земли примерно в 5-1 / 2 раза больше плотности воды.

The **Эксперимент Кавендиша**, как его часто называют, с тех пор был повторен различными другими экспериментаторами в модифицированных формах, и также были разработаны один или два других метода, слишком технических, чтобы описывать их здесь. Все лучшие современные эксперименты дают значения плотности, близкие к 5-1/ 2, что самым поразительным образом подтверждает как гипотезу Ньютона, так и оригинальный эксперимент Кавендиша.

При таком значении плотности масса земли составляет немногим более 13 миллиардов миллиардов фунтов, или, точнее, 13,136,000,000,000,000,000,000,000,000 фунтов.

220. В то время как Гринвич снабжал астрономический мир ценнейшей серией наблюдений, Парижская обсерватория не выполнила своего раннего обещания. На самом деле она, как и английская математика, страдала от пагубных последствий чрезмерной приверженности методам и мнениям выдающегося человека. Так случилось, что Доменико Кассини придерживался нескольких ошибочных мнений в важных астрономических вопросах; он был слишком добрым католиком, чтобы быть подлинным копперниканцем, он не верил в гравитацию, он был твердо убежден, что земля сплющена на экваторе, а не на полюсах, и он

отверг открытие Ремером скорости света. После его смерти в 1712 году руководство Обсерваторией перешло по очереди к трем его потомкам, последний из которых ушел в отставку в 1793 году; и несколько членов семьи Маральди, за которую вышла замуж его сестра, работали в сотрудничестве со своими двоюродными братьями. К сожалению, большая часть их энергии была потрачена сначала на защиту, а затем на постепенный отказ от ошибок их выдающегося руководителя.*Жак Кассини* например, второй член семьи (1677-1756), хотя и был копперниканцем, все еще был робким и отвергал закон площадей Кеплера; его сын, широко известный как *Кассини де Тюри* (1714-1784), все еще защищал ошибки предков относительно формы земли; в то время как четвертый член семьи, *граф Кассини* (1748-1845), был первым в семье, кто принял ньютоновскую идею тяготения.

Некоторые планетарные и другие ценные наблюдения были сделаны школой Кассини-Маральди, но мало что из этой работы имело первостепенное значение.

221. Серия важных измерений Земли, в которых Кассини сыграл значительную роль, была выполнена в 18 веке почти исключительно французами и привела к достаточно точному знанию размера и формы земли.

Изменение длины секундного маятника, наблюдаемое Ричером во время его экспедиции в Кайенну (глава VIII., (§ 161), было первым признаком отклонения земли от сферической формы. Ньютон сделал вывод как из этих экспериментов с маятником, так и из независимого теоретического исследования (глава IX,§ 187), что земля имеет сферическую форму, будучи сплющенной к полюсам; и это мнение было подкреплено удовлетворительным объяснением прецессии, к которому оно привело (глава IX,§ 188).

С другой стороны, сравнение различных измерений дуг меридиана в разных широтах дало некоторую поддержку мнению о том, что земля была вытянута к полюсам и сплюснута к экватору, - точке зрения, которую с большим рвением отстаивала школа Кассини. Совершенно очевидно, что этот вопрос должен быть решен путем более обширных и тщательных измерений земной поверхности.

Существенная часть обычного измерения земли состоит в определении расстояния в милях между двумя точками на одном меридиане, широты которых отличаются на известную величину. Из этих двух данных сразу следует длина дуги меридиана, соответствующая разнице широт в 1°.**Широта** места - это угол, который составляет вертикаль в этом месте с экватором, или, выраженный в несколько иной форме, это угловое расстояние зенита от небесного экватора. **Вертикаль** в любом месте может быть определена как направление, перпендикулярное поверхности стоячей воды в рассматриваемом месте, и может рассматриваться как перпендикулярное истинной поверхности земли, при этом случайные неровности ее формы, такие как холмы и долины, игнорируются.123

Разница в широте между двумя местами, расположенными к северу и югу друг от друга, следовательно, равна углу между тамошними вертикалями. На рис. 78 показаны вертикали, отмеченные стрелками, в местах на одном и том же меридиане на широтах, отличающихся друг от друга на 10°; таким образом, две последовательные вертикали в каждом случае наклонены под углом 10°.

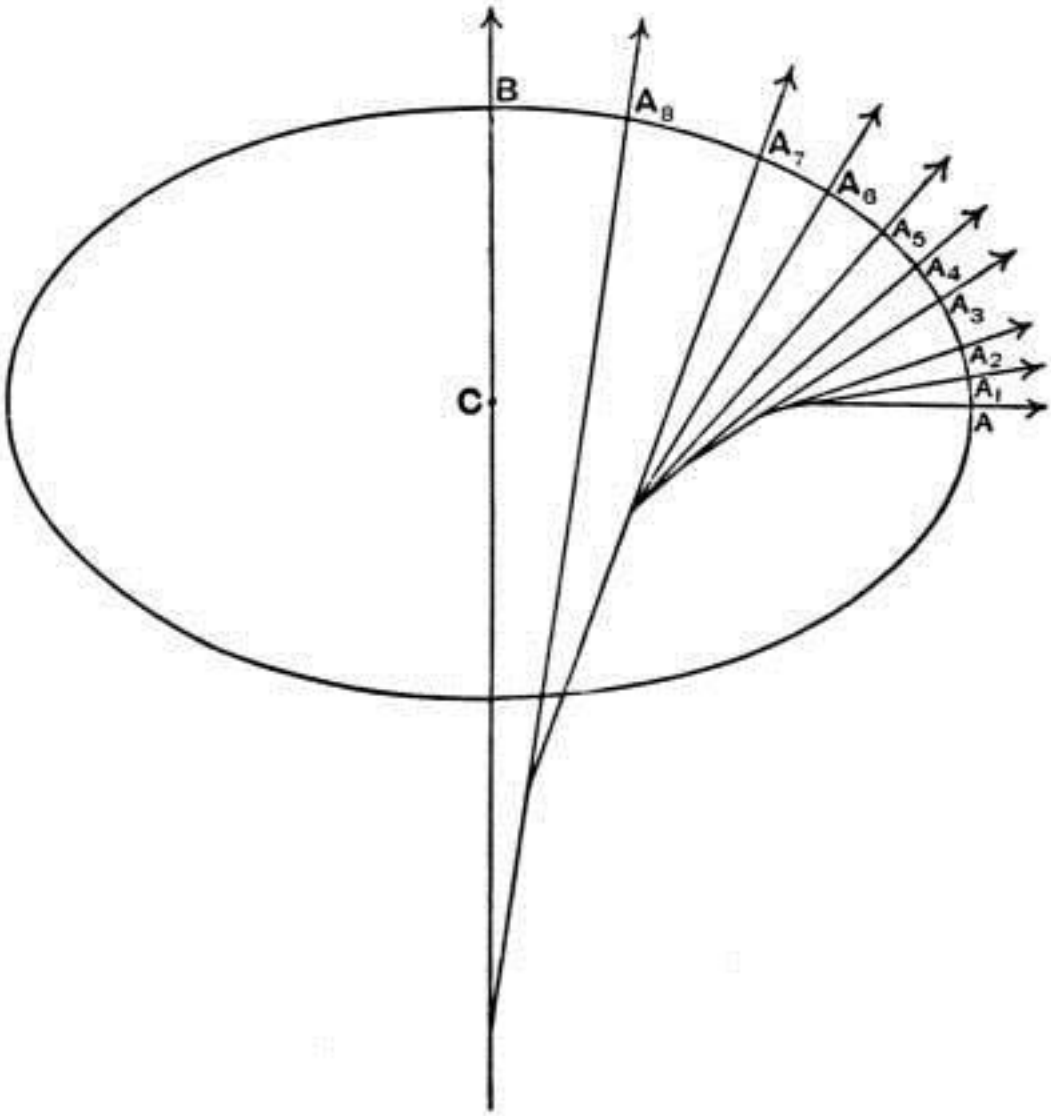


Рис. 78. Изменяющаяся кривизна земли.

Если, как на рис. 78, форме Земли оформляется в соответствии с видом Ньютона, на рисунке видно сразу, что дуг а a_1, A_1 , a_2, и т. д. каждая из которых соответствует 10° широты, постепенно *увеличить* , как мы переходим от точки На экваторе до полюса Б. Если принять противоположную гипотезу, что будет проиллюстрировано тем же рисунком, если мы теперь рассматриваем А как полюс, а В как точку на экваторе, то последовательные дуги *уменьшаются* по мере того, как мы переходим от экватора к полюсу. Сравнение измерений, сделанных Эратосфеном в Египте (глава II., § 36), с некоторыми измерениями, сделанными в Европе (глава VIII., § 159), по-видимому, указывает на то, что градус меридиана вблизи экватора был длиннее градуса в более высоких широтах; и на аналогичный вывод указывало сравнение различных участков обширной французской дуги длиной около 9 °, простирающейся от Дюнкерка до Пиренеев, которая была измерена под руководством Кассини в продолжение дуги Пикара, результат был опубликован Дж. Кассини в 1720 году. Однако ни в том, ни в другом случае данные не были достаточно точными, чтобы обосновать этот вывод; и первое решающее доказательство было получено путем измерения дуг в местах, отличающихся по широте гораздо

в большей степени, чем все, что было доступно до сих пор. Французская академия организовала экспедицию в Перу под руководством трех академиков, *Пьера Буге* (1698-1758), *Шарля Мари де Ла Кондамина* (1701-1774) и *Луи Годена* (1704-1760), с которыми также сотрудничали два испанских морских офицера.

Экспедиция началась в 1735 году, и из-за различных трудностей работа растянулась почти на десять лет. Наиболее важным результатом было измерение с очень достаточной точностью дуги длиной около 3 ° вблизи экватора; но был также проведен ряд ценных экспериментов с маятником, и было сделано немало различных дополнений к знаниям.

Но пока перуанская партия все еще работала, аналогичная экспедиция в Лапландию под руководством академика *Пьера Луи Моро де Мопертюи* (1698-1759) гораздо быстрее (1736-17), хотя и несколько небрежно, произвела измерение дуги почти в 1 ° вблизи северного полярного круга.

Из этих измерений следовало, что длины градуса меридиана около 2 ° южной широты (Перу), около 47 ° Северной широты (Франция) и около 66 ° Северной широты (Лапландия) составляли соответственно 362 800 футов, 364 900 футов и 367 100 футов.124 Таким образом, сравнение любых двух из этих дуг дало четкие доказательства увеличения длины градуса меридиана с увеличением широты; и таким образом, была определенно установлена общая правильность взглядов Ньютона по сравнению с взглядами Кассини.

Степень отклонения земли от сферы обычно выражается долей, известной как **эллиптичность**, которая представляет собой разницу между линиями Ca, Cb на рис. 78, разделенные на более крупные из них. Из сравнения трех только что упомянутых дуг было выведено несколько очень разных значений эллиптичности, причем расхождения были частично вызваны различными теоретическими методами интерпретации результатов, а частично ошибками в дугах.

Измерение, сделанное *Йонсом Сванбергом* (1771-1851) в 1801-1851 годах, дуги, близкой к дуге Мопертюи, фактически показало, что его оценка длины градуса была завышена примерно на 1000 футов.

Большое количество других дуг было измерено в разных частях земли в разное время в течение 18 и 19 веков. Подробности измерений приводить не нужно, но, чтобы не возвращаться к этой теме, удобно привести здесь результаты, полученные путем сравнения этих различных измерений, согласно которым эллиптичность очень близка к 1/292, а наибольший радиус земли (Ca на рис. 78) чуть меньше 21 000 000 футов или 4000 миль. Из этих цифр следует, что длина градуса широты Лондона содержит, используя остроумную мнемонику сэра Джона Гершеля, почти столько же тысяч футов, сколько дней в году.

222. Уже упоминалось превосходство Гринвича в 18 веке в области точных наблюдений. Франция, однако, произвела в этот период на свет одного великого астронома-наблюдателя, который действительно многого добился и при более благоприятных внешних условиях мог бы почти соперничать с Брэдли.

Николя Луи де Лакайль родился в 1713 году. После того как он посвятил много времени богословским исследованиям с целью сделать церковную карьеру, его интересы переключились на астрономию и математику. Он был представлен Жаку Кассини и назначен одним из ассистентов Парижской обсерватории.

В 1738 году и два последующих года он принимал активное участие в измерении французской дуги, находившейся затем в процессе проверки. Занимаясь этой работой, он был назначен (1739) на низкооплачиваемую профессорскую должность в колледже Мазарини, при котором была возведена небольшая обсерватория. Здесь его обычной практикой было проводить за наблюдениями всю ночь, если была хорошая погода, в то время как “чтобы с пользой заполнить часы досуга, которые плохая погода слишком часто предоставляет наблюдателям”, он проводил множество обширных расчетов и писал бесчисленные научные мемуары. Поэтому нет ничего удивительного в том, что он умер сравнительно рано (1762 год) и что его смерть обычно объясняли переутомлением.

223. Монотонность внешней жизни Лакайля была нарушена научной экспедицией на мыс Доброй Надежды (1750-1754), организованной Академией наук и находившейся под его руководством.

Самой яркой работой, проведенной во время этой экспедиции, было систематическое обследование южного неба, в ходе которого было замечено более 10 000 звезд.

Эти наблюдения вместе с тщательно составленным каталогом почти из 2000 звезд125 и звездной картой были опубликованы посмертно в 1763 году под названием *Coelum Australe Stelliferum*и полностью заменили гораздо меньший по размеру и менее точный каталог Галлея (§ 199). Лакайль счел необходимым создать 14 новых созвездий (от некоторых из которых с тех пор вообще отказались) и вернуть на их первоначальные места звезды, которые верный Галлей превратил в Дуб короля Чарльза. Между прочим, Лакай наблюдал и описал 42 туманности, звезды и звездные скопления, систематическое изучение которых было одним из величайших достижений Гершеля (глава XII, §§ 259-261).

Он провел большое количество экспериментов с маятником, как на Маврикии, так и на Кейптауне, с обычной целью определения в новой части света ускорения, вызванного действием силы тяжести, и измерил дугу меридиана, простирающуюся более чем на градус. Он также произвел тщательные наблюдения за положением Марса и Венеры, чтобы, сравнив их с одновременными наблюдениями в северных широтах, получить параллакс солнца (глава VIII,§ 161). Эти наблюдения Марса по сравнению с некоторыми, сделанными в Европе Брэдли и другими, и аналогичная обработка Венеры, оба указали на солнечный параллакс, немного превышающий 10 ", результат менее точный, чем у Кассини (глава VIII., § 161), хотя и полученный с помощью более надежных процессов.

Большое количество наблюдений за Луной, из которых важную часть составили наблюдения, сделанные им на Мысе Кейп, привели после подробного обсуждения, в ходе которого была принята во внимание сфероидальная форма земли, к улучшенному значению расстояния до Луны, впервые опубликованному в 1761 году.

Лакайль также использовал свои наблюдения неподвижных звезд, чтобы улучшить наши знания о рефракции, и получил ряд наблюдений солнца в той части его орбиты, которую оно проходит в наши зимние месяцы (лето южного полушария) и в которой оно, следовательно, находится слишком близко к горизонту, чтобы его можно было удовлетворительно наблюдать в Европе.

Результаты этой — одной из самых плодотворных научных экспедиций, когда—либо предпринятых - были опубликованы в отдельных мемуарах или воплощены в различных книгах, изданных после его возвращения в Париж.

224. В 1757 году под названием *Astronomiae Fundamenta*появился каталог 400 самых ярких звезд, наблюденных и уменьшенных с самой скрупулезной тщательностью, так что, несмотря на скудость инструментального оснащения Лакайля, каталог намного превосходил любой из своих предшественников, и был превзойден только наблюдениями Брэдли по мере их постепенной публикации. Для бескорыстной натуры Лакайля характерно, что он не продавал*Fundamenta* обычным способом, а безвозмездно раздавал экземпляры тем, кто интересуется предметом, и зарабатывал деньги, необходимые для оплаты расходов на публикацию, подсчитывая некоторые астрономические альманахи.

Другой каталог, включающий более 500 звезд, расположенных на зодиаке, был опубликован посмертно.

В следующем году (1758) он опубликовал превосходный набор солнечных таблиц, основанный на огромной серии наблюдений и вычислений. Они были примечательны как первые, в которых были приняты во внимание планетарные возмущения.

Среди незначительных вкладов Лакайля в астрономию можно упомянуть: усовершенствованные методы расчета кометных орбит и фактический расчет орбит большого числа зарегистрированных комет, расчет всех затмений, видимых в Европе с 1 года, предупреждение о том, что прохождение Венеры будет поддаваться гораздо менее точному наблюдению, чем ожидал Галлей (§ 202), наблюдения фактического прохождения 1761 года (§ 227), а также ряд улучшений в методах расчета и использования наблюдений.

Оценивая огромный объем работы, проделанной Лакайлем за свою астрономическую карьеру, длившуюся около 22 лет, следует также иметь в виду, что в его обсерватории были лишь умеренно хорошие инструменты и *не было помощника*, и что значительную часть его времени приходилось тратить на зарабатывание средств к существованию и работу.

225. В рассматриваемый период в Германии также появился один астроном, в первую очередь наблюдатель, больших заслуг,*Тобиас Майер* (1723-1762). Он был назначен профессором математики и политической экономии в Геттингене в 1751 году, очевидно, при том понимании, что ему не нужно читать лекции по последнему предмету, о котором он, похоже, действительно ничего не знал; три года спустя он был назначен начальником обсерватории, которая была возведена 20 лет назад. У него был по крайней мере один прекрасный инструмент,126 и, следуя примеру Тихо, Флемстида и Брэдли, он тщательно изучил его дефекты и продвинулся дальше, чем кто-либо из его предшественников, в теории исправления наблюдений из-за инструментальных ошибок.127

Он улучшил таблицы солнца Лакая и составил каталог из 998 зодиакальных звезд, опубликованный посмертно в 1775 году; путем сравнения положений звезд, зарегистрированных Ремером (1706), со своими собственными наблюдениями и наблюдениями Лакая он получил доказательства значительного числа собственных движений (§ 203); и он внес ряд других менее интересных дополнений в астрономические знания.

226. Но самая важная работа Майера была посвящена Луне. В начале своей карьеры он тщательно изучил положение кратеров и других отметин и благодаря этому смог получить полное геометрическое объяснение различных колебаний Луны (глава VI, § 133) и с точностью установить положение оси, вокруг которой вращается Луна. Карта Луны, основанная на его наблюдениях, была опубликована вместе с другими посмертными работами в 1775 году.

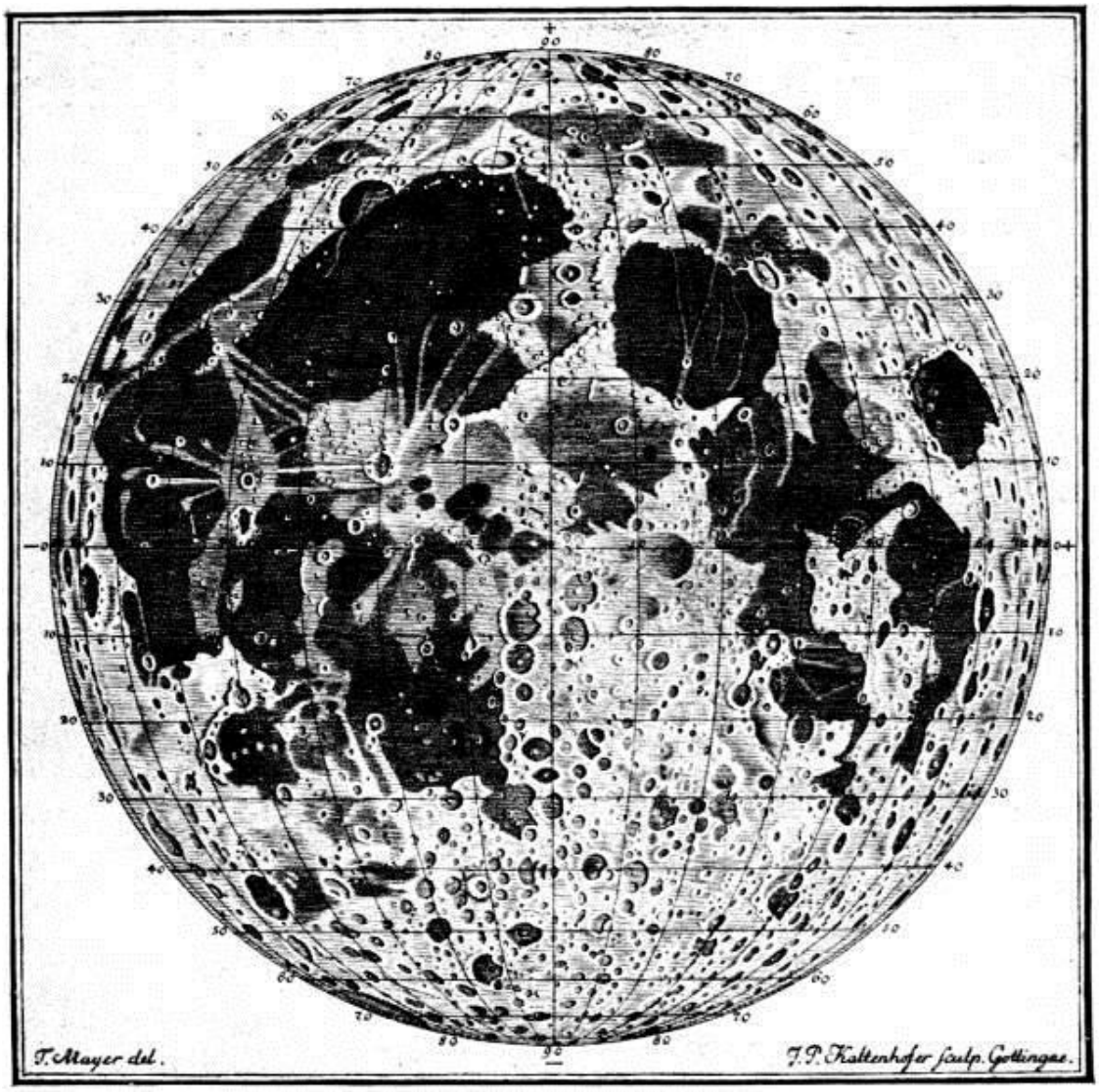


Рис. 79. Карта Луны Тобиаса Майера.

[*Лицом к лицу, стр. 282.*

Однако гораздо важнее были его лунная теория и основанные на ней таблицы. Внутренний математический интерес к проблеме движения Луны и ее практическое значение для определения долготы привели к тому, что астрономы 18 века уделяли этому вопросу большое внимание. Дополнительным стимулом послужили также призы, предложенные британским правительством в 1713 году за метод определения долготы в море,*а именно.* 20 000 фунтов

стерлингов за метод, надежный с точностью до половины градуса, и меньшие суммы за методы меньшей точности.

Все великие математики того периода пытались вывести движение Луны из принципов гравитации. Майер разработал теорию в соответствии с методами, использованными Эйлером (глава XI.,§ 233), но гораздо более либерально, а также более умело использовал наблюдения для определения различных числовых величин, которые чистая теория давала либо совсем, либо со значительной неопределенностью. Соответственно, ему удалось составить таблицы вычислений Луны (опубликованные вместе с таблицами вычислений солнца в 1753 году), которые были заметным улучшением по сравнению с таблицами любого более раннего автора. После внесения дальнейших улучшений он отправил их в 1755 году в Англию. Брэдли, которому Адмиралтейство представило их для критики, положительно отозвался об их точности; и несколько лет спустя, после внесения некоторых изменений в таблицы на основе своих собственных наблюдений, он рекомендовал Адмиралтейству метод определения долготы, основанный на их использовании, который, по его оценкам, в целом позволяет определить долготу с точностью примерно до половины градуса.

Прежде чем было сделано что-либо определенное, Майер умер в раннем возрасте 39 лет, оставив после себя новый набор столов, которые также были отправлены в Англию. В конечном счете 3000 фунтов стерлингов было выплачено его вдове в 1765 году; и как его*Теория Луны*128, так и его улучшенные солнечные и лунные таблицы были опубликованы в 1770 году за счет Совета по долготе. Более позднее издание, улучшенное бывшим помощником Брэдли *Чарльзом Мейсоном* (1730-1787), появилось в 1787 году.

Эйлеру также была присуждена премия за его теоретическую работу; в то время как*Джону Харрисону* было присуждено 3 000 фунтов стерлингов, а впоследствии еще 10 000 фунтов стерлингов за усовершенствования хронометра, которые сделали практически возможным совершенно другой метод определения долготы (глава VI., § 127).

227. У астрономов 18 века было две возможности использовать прохождение Венеры для определения расстояния до солнца, как рекомендовал Галлей (§ 202).

Прохождение Венеры по солнечному диску - явление той же природы, что и затмение солнца Луной, с той важной разницей, что видимая величина планеты слишком мала, чтобы вызвать какое-либо серьезное уменьшение солнечного света, и она просто выглядит как маленькая черная точка на яркой поверхности солнца.

Если бы путь Венеры лежал по эклиптике, то при каждом нижнем соединении, происходящем раз в 584 дня, она обязательно проходила бы между солнцем и землей и казалась бы транзитной. Поскольку, однако, траектории Венеры и земли наклонены друг к другу, при нижнем соединении Венера обычно находится достаточно далеко “над” или “под” эклиптикой, чтобы транзит не происходил. При нынешнем положении двух траекторий, которые планетарные возмущения изменяют лишь очень постепенно, транзиты Венеры происходят парами с интервалом в восемь лет, в то время как между последним из одной пары и более ранним из следующей пары проходят попеременно интервалы в 105-1/2 и 121-1/2 года. Таким образом, транзиты имели место в декабре 1631 и 1639 годов, июне 1761 и 1769 годов, декабре 1874 и 1882 годов и повторятся в 2004 и 2012 годах, 2117 и 2125 годах и так далее.

Можно сказать, что метод определения расстояния Солнца от прохождения Венеры существенно не отличается от метода, основанного на наблюдениях Марса (глава VIII, § 161).

Целью наблюдателя в обоих случаях является получение разницы в направлении планеты, видимой из разных мест на земле. Венера, однако, когда она вообще приближается к земле, обычно находится на небе слишком близко к солнцу, чтобы за ней можно было вести точное наблюдение, но когда происходит прохождение, солнечный диск служит как бы циферблатом, на котором можно отметить положение планеты. Более того, измерения мельчайших углов, искусство, еще не доведенное до большого совершенства в 18 веке, можно избежать с помощью временных наблюдений, поскольку разницу вмоментах, в которые Венера входит в солнечный диск (или покидает его), наблюдаемую с разных станций, или разницу в продолжительности прохождения можно без труда перевести в разницу направлений, и можно вывести расстояния между Венерой и Солнцем.129

Правительства, Академии и частные лица приложили огромные усилия, чтобы организовать наблюдение за транзитами 1761 и 1769 годов. Первые наблюдательные группы были отправлены в Тобольск, на остров Святой Елены, на мыс Доброй Надежды и в Индию, в то время как астрономы также вели наблюдения в Гринвиче, Париже, Вене, Упсале и других местах Европы. Следующий транзит наблюдался в еще большем масштабе, выбранные станции простирались от Сибири до Калифорнии, от Варангер-фьорда до Отахейти (где была размещена личность не менее известная, чем капитан Кук) и от Гудзонова залива до Мадраса.

Экспедиции, организованные по этому случаю Американским философским обществом, можно рассматривать как первый вклад Америки в науку, которая с тех пор столь многим ей обязана; в то время как императрица Екатерина засвидетельствовала новоприобретенную цивилизацию своей страны, организовав ряд наблюдательных станций на российской земле.

Результаты в гораздо большей степени соответствовали ожиданиям Лакайля, чем Галлея. Целый ряд причин не позволил наблюдать моменты соприкосновения дисков Венеры и солнца с той точностью, на которую надеялись. Выбирая различные наборы наблюдений и делая различные поправки на различные вероятные источники ошибок, различные калькуляторы получили ряд противоречивых результатов. Значения параллакса Солнца (глава VIII,§ 161), полученные на основе более раннего из двух прохождений, варьировались примерно от 8 до 10 дюймов; в то время как значения, полученные в 1769 году, хотя и были гораздо более последовательными, все еще варьировались примерно от 8 до 9 дюймов, что соответствует изменению расстояния до солнца примерно на 10 000 000 миль.

Весь набор наблюдений впоследствии был очень подробно обсужден в 1822-4 и снова в 1835 году*Иоганном Францем Энке* (1791-1865), который вывел параллакс 8 "· 571, соответствующий расстоянию в 95 370 000 миль, число, которое долгое время оставалось классическим. Неопределенность данных, однако, подтверждается тем фактом, что другие не менее компетентные астрономы вывели из наблюдений 1769 параллаксов 8"·8 и 8"· 9.

До сих пор нет никаких сведений об Уильяме Гершеле, возможно, самом известном из всех наблюдателей, чья карьера приходится в основном на последнюю четверть 18 века и начало 19 века. Поскольку, однако, его работа существенно отличалась от работ почти всех астрономов 18 века и дала мощный импульс развитию отдела астрономии, который до сих пор почти игнорировался, обсуждение его работы удобно отложить на более позднюю главу (XII.).

ГЛАВА XI.
ГРАВИТАЦИОННАЯ АСТРОНОМИЯ В 18 ВЕКЕ.

“Астрономия, рассматриваемая в самом общем виде, представляет собой великую проблему механики, произвольные данные которой являются элементами небесных движений; ее решение зависит как от точности наблюдений, так и от совершенства анализа”.

Лаплас, Предисловие к *"Небесной механике"*.

228. Солнечная система, какой она была известна в начале 18 века, состояла из 18 признанных элементов: солнца, шести планет, десяти спутников (один принадлежит Земле, четыре - Юпитеру и пять - Сатурну) и кольца Сатурна.

Известно, что кометы неоднократно появлялись в области пространства, занятой Солнечной системой, и были основания полагать, что по крайней мере одна из них (глава X,§ 200) была постоянным посетителем; однако их едва ли считали принадлежащими солнечной системе, и их воздействие (если таковое имело место) на ее членов игнорировалось, пренебрежение, которое, как показало последующее исследование, полностью оправдано. Были также обнаружены многие тысячи неподвижных звезд и определено их положение на небесной сфере; было известно, что они находятся на очень больших, хотя и неизвестных расстояниях от солнечной системы, и их влияние на нее считалось незначительным.

Движения 18 элементов Солнечной системы были достаточно хорошо известны; их фактические расстояния друг от друга были приблизительно оценены, в то время как*пропорции* между большинством расстояний были известны со значительной точностью. За исключением совершенно аномального кольца Сатурна, которое пока можно не принимать во внимание, из наблюдений было известно, что большинство тел системы имеют форму, близкую к сферической, и обычно предполагалось, что таковыми являются и остальные.

Ньютон показал со значительной степенью вероятности, что эти тела притягиваются друг к другу в соответствии с законом всемирного тяготения; и не было никаких оснований предполагать, что они оказывают какое-либо другое существенное влияние на движения друг друга.130

Таким образом, возникшая проблема, которую удобно назвать проблемой Ньютона, заключалась в следующем:

Учитывая эти 18 тел, их положения и движения в любой момент времени, вывести из их взаимного притяжения путем математического расчета их положения и движения в любой другой момент времени; и показать, что они согласуются с реально наблюдаемыми.

Такой расчет обязательно включал бы, среди прочих величин, массы нескольких тел; очевидно, было законно предполагать их по желанию таким образом, чтобы результаты расчета

соответствовали результатам наблюдения. Если бы это было сделано успешно, массы, таким образом, определились бы. Точно так же общепринятые оценки размеров Солнечной системы и форм ее элементов могут быть изменены любым способом, фактически не противоречащим прямым наблюдениям.

Сформулированная таким образом общая проблема, к счастью, может быть сведена к несколько более простым задачам.

Ньютон показал (глава IX, § 182), что обычная сфера притягивает другие тела и притягивается ими, как если бы ее масса была сосредоточена в ее центре; и что последствия отклонения от сферической формы становятся очень малыми на значительном расстоянии от тела. Следовательно, за исключением особых случаев, тела солнечной системы можно рассматривать как сферы, которые опять же можно рассматривать как сосредоточенные в их соответствующих центрах. Для краткости будет удобно предположить на будущее, что все упомянутые “органы” относятся к этому виду, если только не указано или не подразумевается обратное. Последствия отклонений от сферической формы можно было бы затем рассматривать отдельно, когда требуется, как в случаях прецессии и других движений планеты или спутника вокруг своего центра и соответствующего воздействия несферической планеты на ее спутники; к этой группе проблем относится также проблема приливов и других случаев движения частей тела любой формы относительно остальных.

Опять же, солнечная система устроена так, что движение каждого тела можно рассматривать как определяемое в первую очередь только одним другим телом. Планета, например, движется почти так, как если бы не существовало никакого другого тела, кроме солнца, а движение Луны относительно земли примерно такое же, как если бы других тел солнечной системы не существовало.

Проблема движения двух взаимно тяготеющих сфер была полностью решена Ньютоном и, как было показано, привела к первым двум законам Кеплера. Следовательно, каждое тело солнечной системы можно рассматривать как движущееся почти по эллипсу вокруг какого-либо одного тела, но слегка возмущенное действием других. Более того, согласно общему математическому принципу, применимому в задачах движения, эффект ряда мелких возмущающих причин, действующих совместно, почти такой же, как тот, который возникает в результате сложения их отдельных эффектов. Следовательно, каждое тело можно было бы без большой ошибки рассматривать как возмущенное одним телом за раз; затем несколько возмущающих эффектов можно было бы сложить вместе и произвести новый расчет, чтобы еще больше уменьшить ошибку. Таким образом, ядро проблемы Ньютона рассматривается как частный случай так называемой**проблемы трех тел**, а именно:-

Учитывая в любой момент времени положения и движения трех взаимно тяготеющих тел, определить их положения и движения в любой другой момент времени.

Даже эта, казалось бы, простая задача в ее общей форме полностью превосходит возможности не только математических методов начала 18 века, но и тех, которые были разработаны с тех пор. Были решены некоторые частные случаи, так что было показано, что можно предположить, что три тела изначально движутся таким образом, что их будущее движение может быть полностью определено. Но таких случаев в природе не бывает.

В случае солнечной системы проблема упрощается не только из-за уже упомянутого соображения, что одно из трех тел всегда можно рассматривать как оказывающее лишь небольшое влияние на относительное движение двух других, но также из-за того факта, что орбиты планет и спутников не сильно отличаются от окружностей и что плоскости их орбит ни в коем случае не наклонены под большими углами ни к одному из них, такими как эклиптика; другими словами, эксцентриситеты и наклоны являются малыми величинами.

Было обнаружено, что задача, упрощенная таким образом, допускает решения значительной точности методами аппроксимации.131

В случае системы, образованной солнцем, землей и луной, характерной особенностью является большое расстояние солнца, которое является возмущающим телом, от двух других тел; в случаесолнца и двух планет важным фактором является огромная масса солнца по сравнению с возмущающей планетой. Следовательно, методы лечения, подходящие для этих двух случаев, различаются, и развились две существенно отличающиеся друг от друга области изучения,**лунная теория** и **планетарная теория**. Проблемы, связанные с движением спутников Юпитера и Сатурна, хотя и связаны с проблемами лунной теории, отличаются в некоторых важных аспектах и обычно рассматриваются отдельно.

229. Как мы видели, Ньютон сделал ряд важных шагов к решению своей проблемы, но его преемники мало что сделали в его собственной стране. На Континенте прогресс поначалу также был очень медленным.*Principia* была прочитана большинством ведущих математиков того времени и вызвала восхищение, но ее принципы не были приняты, и картезианство оставалось преобладающей философией. Шаг вперед отмечен публикацией Парижской академией наук в 1720 году мемуаров, написанных *шевалье де Лувиллем* (1671-1732) на основе принципов Ньютона; десять лет спустя Академия присудила премию эссе о движении планет, написанному *Джоном Бернулли* (1667-1748) о принципах картезианства, ньютоновское эссе было поставлено на второе место. В 1732 году Мопертюи (глава X., § 221) опубликовал трактат о фигуре земли на ньютоновых линиях, а появление шесть лет спустя чрезвычайно удобочитаемых *трудов Вольтера по философии Ньютона* оказало большое влияние на популяризацию новых идей. Последнее официальное признание картезианства во Франции, по-видимому, было в 1740 году, когда премия, предложенная Академией за эссе о приливах, была разделена между картезианцем и тремя выдающимися ньютонистами (§ 230).

Быстрое развитие гравитационной астрономии, последовавшее между этим временем и началом 19 века, было почти полностью заслугой пяти великих континентальных математиков: Эйлера, Клеро, Д'Аламбера, Лагранжа и Лапласа, старший из которых родился в 1707 году, а младший умер в 1827 году, через месяц после столетия со дня смерти Ньютона. Эйлер был швейцарцем, Лагранж был итальянцем по происхождению, но французом по происхождению и в значительной степени по усыновлению, а остальные трое были полностью французами. Таким образом, Франция на протяжении почти всего 18 века безраздельно господствовала в области гравитационной астрономии и не утратила своего превосходства даже сегодня, хотя в течение нынешнего столетия Америка, Англия, Германия, Италия и другие страны внесли существенный вклад в этот предмет.

Удобно сначала рассмотреть работы трех названных астрономов, а затем обратиться к Лагранжу и Лапласу, которые вывели гравитационную астрономию на значительно более высокую ступень развития, чем их предшественники.

230. *Леонард Эйлер* родился в Базеле в 1707 году, на 14 лет позже Брэдли и на шесть лет раньше Лакайля. Он был сыном протестантского священника, изучавшего математику под руководством *Джеймса Бернулли* (1654-1705), первого представителя известной семьи математиков. Сам Леонард Эйлер был любимым учеником Джона Бернулли (младшего брата Джеймса) и близким другом двух его сыновей, один из которых, *Дэниел* (1700-1782), был не только выдающимся математиком, как его отец и дядя, но и первым важным ньютонистом за пределами Великобритании. Как и многие другие астрономы, Эйлер начал с изучения теологии, но как его природные вкусы, так и влияние Бернулли побудили его обратить свое внимание на математику. Под влиянием Даниэля Бернулли, который недавно был назначен профессором в Санкт-Петербурге, Эйлер получил и принял приглашение присоединиться к недавно созданной там Академии наук (1727). Это первое назначение сопровождалось получением стипендии, а в обязанности входило общее продвижение науки; впоследствии Эйлер занялся более определенной профессорской работой, но большая часть его энергии на протяжении всей карьеры была направлена на написание математических работ, большинство из которых были опубликованы Санкт-Петербургской академией. Хотя он не принимал участия в политике, российское самодержавие, по-видимому, было для него тягостным, поскольку он вырос в швейцарском и протестантском окружении; и в 1741 году он принял приглашение Фридриха Великого, деспота менее ярко выраженного типа, приехать в Берлин и помочь в реорганизации тамошней Академии наук. Однажды королева упрекнула его в неразговорчивости и меланхолическом поведении, и он оправдал свое молчание тем, что только что приехал из страны, где за высказывания грозило повешение;132 но, несмотря на эту откровенную критику, он оставался в хороших отношениях с российским двором и продолжал получать стипендию как член Санкт-Петербургской академии и вносить свой вклад в ее деятельность. Более того, после 25 лет, проведенных в Берлине, он принял настоятельное приглашение императрицы Екатерины II и вернулся в Россию (1766).

Он потерял способность пользоваться одним глазом в 1735 году, что вызвало у него замечание, что отныне его меньше будут отвлекать от математики; второй глаз исчез вскоре после его возвращения в Россию, и, за исключением короткого времени, в течение которого операция частично восстановила способность пользоваться одним глазом, он оставался слепым до конца своей жизни. Но эта инвалидность мало повлияла на его поразительную научную деятельность; и только после почти 17 лет слепоты в результате апоплексического удара “он перестал жить и считать” (1783).

Эйлер был, вероятно, самым разносторонним и плодовитым математиком всех времен. Едва ли найдется какая-либо отрасль современного анализа, в которую он не внес большой вклад, и его экстраординарные способности к разработке и применению методов вычислений были с большим успехом использованы им в каждой из существующих отраслей прикладной математики; проблемы абстрактной динамики, оптики, движения жидкостей и астрономии по очереди подвергались его анализу и решались. О масштабности его трудов свидетельствует тот факт, что в дополнение к нескольким книгам он написал около 800 статей по математическим и физическим дисциплинам; подсчитано, что полное издание его работ заняло бы 25 томов объемом около 600 страниц каждый.

Первым вкладом Эйлера в астрономию было эссе о приливах, которое получило часть премии Академии наук за 1740 год, о которой уже упоминалось, Даниэль Бернулли и Маклорен (глава X.,

§ 196) были двумя другими ньютонианцами. Проблема приливов и отливов, однако, никоим образом не была решена ни одним из трех авторов.

Он дал два различных решения проблемы трех тел в форме, подходящей для лунной теории, и внес ряд чрезвычайно важных и наводящих на размышления, хотя и неполных, вкладов в планетарную теорию. В обоих вопросах его работа была настолько тесно связана с работами Клеро и Д'Аламбера, что удобнее обсуждать ее в связи с их работами.

231. *Алексис Клод Клеро*, родившийся в Париже в 1713 году, принадлежит к классу не по годам развитых гениев. Он прочитал бесконечно малое исчисление и конические сечения в возрасте десяти лет, представил научные мемуары в Академию наук до того, как ему исполнилось 13, и опубликовал книгу,содержащую некоторые важные вклады в геометрию, когда ему было 18, тем самым добившись поступления в Академию.

Вскоре после этого он принял участие в экспедиции Мопертюи в Лапландию (глава X.,§ 221) и после публикации нескольких статей второстепенной важности выпустил в 1743 году свою классическую работу о фигуре земли. В ней он обсудил в гораздо более полной форме, чем Ньютон или Маклорен, форму, которую принимает вращающееся тело, подобное земле, под влиянием взаимного притяжения его частей, выдвинув определенные гипотезы очень общего характера относительно изменений плотности внутри; и вывел формулы для изменения ускорения, вызванного действием силы тяжести, на разных широтах, которые находятся в удовлетворительном согласии с результатами экспериментов с маятником.

Хотя с тех пор этот вопрос был более детально и в более общем плане рассмотрен более поздними авторами и было внесено немало дополнений, к результатам, содержащимся в книге Клеро, было добавлено мало результатов фундаментальной важности, если они вообще были получены.

Затем он обратил свое внимание на проблему трех тел, получил решение, подходящее для Луны, и добился некоторого прогресса в теории планет.

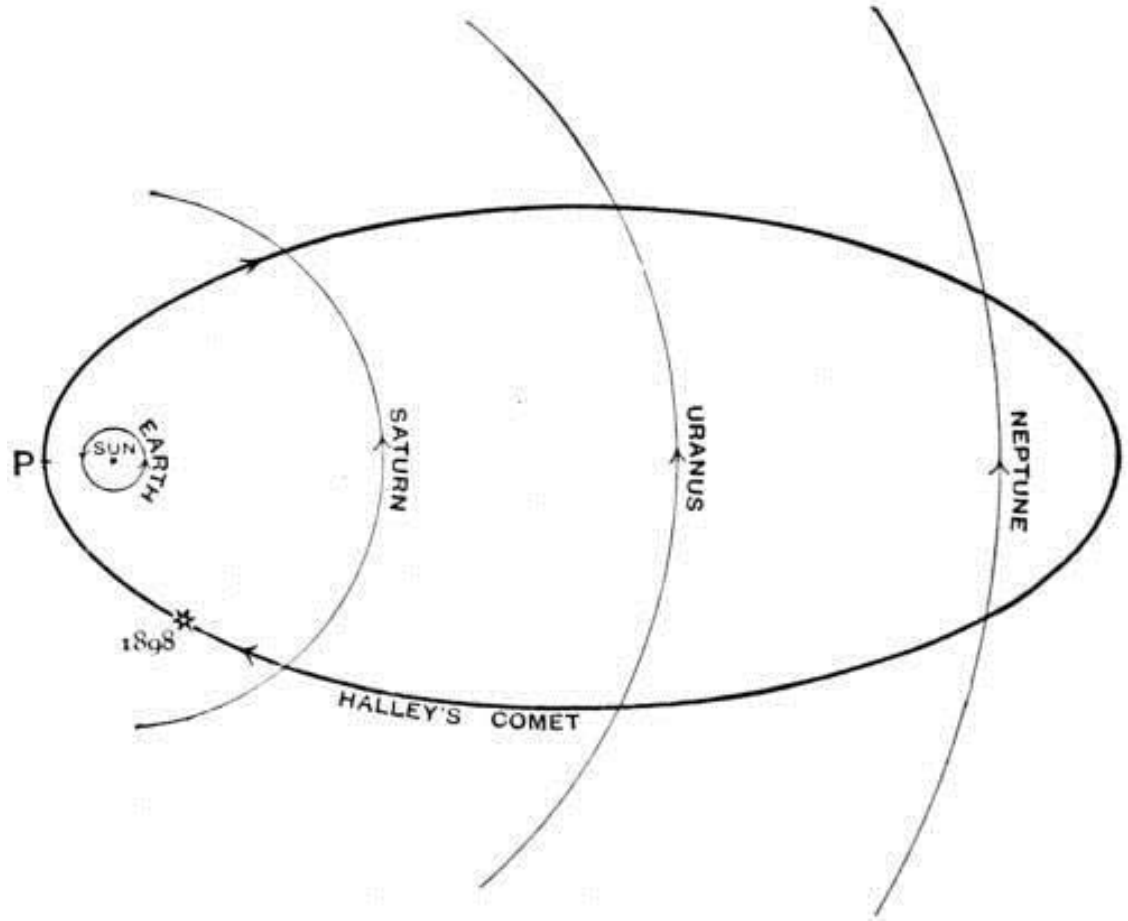


Рис. 80.Путь кометы Галлея.

Комета Галлея (глава X, § 200) должна была “появиться” примерно в 1758 году; по мере приближения этого времени Клеро взялся за вычисление возмущений, которые она, вероятно, испыталас момента своего последнего появления из-за влияния двух больших планет, Юпитера и Сатурна, вблизи которых она должна была пройти. Чрезвычайно трудоемкий расчет показал, что Сатурн задержал бы движение кометы примерно на 100 дней, а Юпитер - примерно на 518 дней, и в соответствии с этим он объявил Академии ближе к концу 1758 года, что можно ожидать прохождения кометой своего перигелия (точка ее орбиты, ближайшая к Солнцу, P на рис. 80) примерно 13 апреля следующего года, хотя из-за различных дефектов в его расчетах в любом случае могла быть ошибка в месяц. Астрономический мир с тревогой наблюдал за кометой, и на самом деле она была обнаружена любителем *Георгом Палицем* (1723-1788) из Саксонии на Рождество 1758 года; она прошла свой перигелий всего за месяц и день до времени, назначенного Клеро.

Таким образом, блестящая гипотеза Галлея оправдалась; к солнечной системе добавился новый элемент, и возникли надежды — которые впоследствии полностью оправдались, — что и в других случаях движение комет может быть приведено к правилу и рассчитано в соответствии с теми же принципами, что и движение менее неустойчивых тел. Суеверия, связанные с кометами, были, конечно, в то же время поколеблены еще больше.

Клеро, по-видимому, обладал большим личным обаянием и был заметной фигурой в парижском обществе. К сожалению, его силы были недостаточны для совместной общественной и научной

деятельности, и он умер в 1765 году в возрасте, когда на его экстраординарные способности еще можно было надеяться.133

232.*Жан-ле-Ронд Д'Аламбер* был найден в 1717 году младенцем на ступенях церкви Сен-Жан-ле-Ронд в Париже, но впоследствии был признан и в некоторой степени обеспечен своим отцом, хотя жил с приемными родителями. Получив хорошее школьное образование, он изучал юриспруденцию и медицину, но затем обратил свое внимание на математику. Впервые он привлек внимание в математических кругах статьей, написанной в 1738 году, и два года спустя был принят в Академию наук. Его самой ранней важной работой была "*Характеристика динамики"* (1743), которая содержала, среди прочих вкладов в эту тему, первое изложение динамического принципа, носящего его имя, и который, хотя в некотором смысле является лишь следствием Третьего закона движения Ньютона, оказался огромным подспорьем почти во всех общих динамических проблемах, астрономических или иных. В течение следующих нескольких лет он внес ряд вкладов в математическую физику, а также в проблему трех тел; и опубликовал в 1749 году свою работу о прецессии и нутации, на которую уже ссылались (глава X., § 215). С этого времени он начал отдавать все большую часть своей энергии работе вне математики. В течение нескольких лет он сотрудничал с Дидро в создании знаменитой французской энциклопедии, которая начала выходить в 1751 году и оказала столь большое влияние на современную политическую и философскую мысль. Д'Аламбер написал введение, которое было зачитано в *Французской*академии 134-го года по случаю его вступления в этот выдающийся орган, а также множество научных и других статей. В более поздний период своей жизни, закончившийся в 1783 году, он мало писал по математике, но опубликовал ряд книг на философские, литературные и политические темы;135 будучи секретарем Академии, он также написал некрологи (*éloges*) примерно 70 ее членов. Таким образом, по словам Карлайла, он обладал “большими способностями, особенно большой ясностью и методичностью; прославился в математике; не менее, к удивлению некоторых, в интеллектуальных областях литературы”.

Д' Аламбер и Клеро были большими соперниками, и почти каждая работа последнего подвергалась суровой критике со стороны первого, в то время как Клеро отвечал, хотя и с гораздо меньшим рвением и яростью. Огромная популярность, приобретенная Клеро благодаря его работе о комете Галлея, по-видимому, особенно возбудила зависть Д'Аламбера. Соперничество, хотя и не было приятным зрелищем, было, однако, полезным, поскольку привело к выявлению и последующему улучшению различных слабых мест в работе каждого из них. В других отношениях личные качества Д'Аламбера, по-видимому, были чрезвычайно приятными. Он всегда был бедным человеком, но, тем не менее, отклонил великолепные предложения, сделанные ему Екатериной II Российской и Фридрихом Великим Прусским, и предпочел сохранить свою независимость, хотя сохранил дружбу обоих государей и получал небольшую пенсию от последнего. Он жил чрезвычайно просто и, несмотря на свою бедность, был очень щедр к своей приемной матери, различным молодым студентам и многим другим, с кем он общался.

233. Эйлеру, Клеро и Д'Аламберу удалось независимо и почти одновременно получить решения задачи о трех телах в форме, подходящей для лунной теории. Эйлер опубликовал в 1746 году несколько довольно несовершенных Таблиц Луны, которые показали, что он, должно быть, уже получил свое решение. И Клеро, и Д'Аламбер представили Академии в 1747 году мемуары, содержащие их соответствующие решения, с приложениями к Луне, а также к некоторым

планетарным проблемам. В каждом из этих мемуаров встречалась та же трудность, с которой столкнулся Ньютон: рассчитанное движение Луны в апогее составляло лишь примерно половину наблюдаемого результата. Клеро сначала столкнулся с этой трудностью, предположив изменение закона всемирного тяготения, и получил результат, который показался ему удовлетворительным, предположив, что гравитация изменяется частично как обратный квадрат, а частично как обратный куб расстояния.136 У Эйлера также были сомнения относительно правильности обратного квадрата. Однако два года спустя (1749), еще раз просмотрев свои первоначальные расчеты, Клеро обнаружил, что некоторые термины, которые в начале расчета казались неважными и поэтому были опущены, стали важными позже. Когда они были приняты во внимание, движение апогея, выведенное из теории, очень близко соответствовало наблюдаемому. Это был первый из нескольких случаев, в которых серьезное расхождение между теорией и наблюдениями сначала дискредитировало закон всемирного тяготения, но впоследствии получило объяснение и тем самым дало новую проверку его точности. Когда Клеро объявил о своем открытии, Эйлер путем новых вычислений пришел по существу к тому же результату, в то время как Д'Аламбер, продолжив аппроксимацию, получил аппроксимацию, которая была немного более точной. Свежий расчет движения Луны Клеро получил премию по этому предмету, предложенную Санкт-Петербургской академией, и был опубликован в 1752 году под названием *"Теория Луны"*. Два года спустя он опубликовал свод лунных таблиц, а незадолго до своей смерти (1765) выпустил исправленное издание "*Теории Луны"*, в котором он воплотил новый набор таблиц.

Д'Аламбер вслед за своей статьей 1747 года опубликовал полную теорию луны (с умеренно хорошим набором таблиц), которая, хотя и была в основном закончена в 1751 году, была опубликована только в 1754 году в качестве первого тома его*Исследований по различным важным моментам в системе мира*. В 1756 году он опубликовал улучшенный набор таблиц, а через несколько месяцев - третий том*Исследований* с некоторыми свежими разработками теории. Второй том его *математических трудов* (1762) содержал еще один мемуар на эту тему с третьим набором таблиц, которые были небольшим улучшением предыдущих.

Первая лунная теория Эйлера (*Theoria Motuum Lunae*) была опубликована в 1753 году, хотя она была отправлена в Санкт-Петербургскую академию годом или двумя ранее. В приложении137 он с характерной для него откровенностью указывает на недостатки, которыми, как ему кажется, страдает его лечение, и предлагает новый метод работы с этим субъектом. Именно на этой теории Тобиас Майер основывал свои таблицы, упомянутые в предыдущей главе (§ 226). Много лет спустя Эйлер изобрел совершенно новый подход к предмету, и после нескольких предварительных работ, посвященных общему методу и специальным частям проблемы, он разработал лунную теорию в мельчайших деталях с помощью одного из своих сыновей и двух других помощников и опубликовал все вместе с таблицами в 1772 году. Он попытался, но безуспешно, разобраться в этой теории с вековым ускорением среднего движения, которое обнаружил Галлей (глава X.,§ 201).

При любой математической обработке астрономической задачи некоторые данные должны быть заимствованы из наблюдений, и из трех астрономов Клеро, по-видимому, был наиболее искусен в использовании наблюдений, многие из которых он получил от Лакайля. Следовательно, его таблицы представляли фактические движения Луны гораздо точнее, чем у Д'Аламбера, и даже превосходили в некоторых пунктах таблицы, основанные на гораздо более сложной второй теории Эйлера; последние таблицы Клеро редко допускали погрешность более

1-1 / 2' и, следовательно, служили бы для определения долготы с точностью примерно до 3-4 °. Таблицы Клеро, однако, никогда особо не использовались, поскольку таблицы Тобиаса Майера, улучшенные Брэдли, на практике оказались намного более точными; но Майер так много заимствовал из наблюдений, что его формулы нельзя рассматривать как истинные выводы из гравитации в том же смысле, в каком были сделаны Клеро. С математической точки зрения вторая теория Эйлера является наиболее интересной и имела наибольшее значение как основа для более поздних разработок. Самая современная лунная теория138 в некотором смысле является возвращением к методам Эйлера.

234. Можно сказать, что лунная теория Ньютона дала *качественный* отчет о лунных неравенствах, известных из наблюдений на момент публикации *Principia*, и указала на другие, которые еще не наблюдались. Но его попытки *количественно* объяснить эти нарушения увенчались успехом лишь частично.

Эйлер, Клеро и Д'Аламбер придали лунной теории совершенно новую форму, используя аналитические методы вместо геометрических; одним из преимуществ этого было то, что за счет затрат необходимого труда расчеты, как правило, могли быть продолжены при необходимости и привести к более высокой степени точности. Результатом их более тщательной разработки стало то, что — за одним исключением — неравенства, известные из наблюдений, были объяснены со значительной степенью точности как количественно, так и качественно; и, таким образом, таблицы, подобные таблицам Клеро, основанные на теории, очень точно отображали движение Луны. Единственным исключением было вековое ускорение: мы только что видели, что Эйлеру не удалось его объяснить; Д' Аламбер также потерпел неудачу, и Клеро, по-видимому, не рассматривал этот вопрос.

235. Главными неравенствами в движении планет, которые были обнаружены наблюдениями вплоть до времен Ньютона, были поступательное движение вершин земной орбиты и очень медленное уменьшение наклона эклиптики. К ним можно добавить изменения в скоростях движения Юпитера и Сатурна, открытые Галлеем (глава X., § 204).

Ньютон в общих чертах показал, что возмущающее воздействие другой планеты вызовет смещения в апсидах любой планетной орбиты и изменение относительного положения плоскостей, в которых движется возмущающая планета; но он не делал подробных расчетов. Некоторые эффекты такого общего характера, в дополнение к уже известным, были, однако, обозначены с большей или менее отчетливостью в результате наблюдений в различных планетных таблицах, опубликованных в период с даты*Начала* до середины 18 века.

Неравномерности в движении земли, проявляющиеся как неравномерности в видимом движении Солнца, а также Юпитера и Сатурна, были наиболее интересными и важными из планетарных неравенств, и Парижская академия несколько раз предлагала призы за эссе на ту или иную тему.

Возмущения Луны неизбежно влекли за собой — по принципу действия и противодействия — соответствующие, хотя и меньшие, возмущения земли; они неоднократно обсуждались Клеро и Эйлером и еще более полно Д'Аламбером.

В статье Клеро от 1747 года (§ 233) он предпринял некоторую попытку применить свое решение проблемы трех тел к случаю солнца, земли и Сатурна, который из-за большого расстояния

Сатурна от солнца (почти в десять раз превышающего расстояние от земли) является планетарным случаем, наиболее похожим на случай земли, Луны и солнца (ср. § 228).

Десять лет спустя он довольно подробно обсудил возмущения земли, вызванные Венерой и Луной. Эта статья была примечательна тем, что содержала первую попытку оценить массы небесных тел путем наблюдения за вызванными ими возмущениями. Клеро применил этот метод к Луне и Венере, вычислив возмущения в движении Земли из-за их действия (которые обязательно зависели от их масс), а затем сравнив результаты с наблюдениями Лакайля за Солнцем. Таким образом, было обнаружено, что масса Луны составляет примерно 1,67, а масса Венеры 2,3 массы Земли; первый результат был значительным улучшением оценки Ньютона по приливам и отливам (глава IX, § 189), а второй, который был совершенно новым, поскольку предыдущие оценки были лишь предположительными, сносно согласуется с современными измерениями.139 В качестве хорошей иллюстрации взаимного влияния наблюдений и математической теории стоит отметить, что, в то время как Клеро использовал наблюдения Лакая для своей теории, Лакай, в свою очередь, использовал расчеты Клеро о возмущениях земли для улучшения своих таблиц Солнца, опубликованных в 1758 году.

Метод Клеро для решения задачи о трех телах был также применен *Жозефом Жеромом Ле Франсуа Лаландом* (1732-1807), который в основном известен как замечательный популяризатор астрономии, но также был неутомимым вычислителем и наблюдателем, к возмущениям Марса Юпитером, Венеры землей и земли Марсом, но лишь с умеренным успехом.

Д'Аламбер добился некоторого прогресса в общей трактовке планетарных возмущений во втором томе своих*исследований*и применил свои методы к Юпитеру и Сатурну.

236. Эйлер продвинул общую теорию значительно дальше в серии работ, начавшихся в 1747 году. Он предпринял несколько попыток объяснить неправильности Юпитера и Сатурна, но так и не преуспел в удовлетворительном представлении результатов наблюдений. Однако он показал, что возмущения, вызванные другими планетами, приведут к тому, что линия земной апсиды будет продвигаться вперед примерно на 13 дюймов в год, а наклон эклиптики уменьшаться примерно на 48 дюймов в год, причем оба результатанаходятся в точном соответствии как с наблюдениями, так и с более сложными расчетами, сделанными впоследствии. Он указал также на существование различных других планетарных нарушений, которые по большей части ранее не наблюдались.

В эссе, за которое Академия присудила премию в 1756 году, но которое было впервые опубликовано в 1771 году, он с некоторой полнотой разработал метод борьбы с возмущениями, который он указал в своей лунной теории 1753 года. Поскольку этот метод, известный как метод**варьирования элементов** или **параметров**, сыграл очень важную роль в последующих исследованиях, возможно, стоит попытаться дать его общее представление.

Если пренебречь возмущениями, планету можно рассматривать как движущуюся по эллипсу с солнцем в одном фокусе. Размер и форма эллипса могут быть определены длиной его оси и эксцентриситетом; плоскость, в которой расположен эллипс, определяется положением линии, называемой линией**узлов**, в которой она пересекает фиксированную плоскость, обычно принимаемую за эклиптику, и наклоном двух плоскостей. Когда эти четыре величины фиксированы, эллипс все еще может поворачиваться вокруг своего фокуса в своей собственной

плоскости, но если направление линии апсиды также фиксировано, эллипс полностью определен. Если, кроме того, известно положение планеты на ее эллипсе в любой момент времени, движение полностью определено и ее положение в любой другой момент времени может быть вычислено. Таким образом, существует шесть величин, известных как**элементы**, которые полностью определяют движение планеты, не подверженной возмущениям.

Когда принимаются во внимание возмущения, траектория, описываемая планетой за один оборот, перестает быть эллипсом, хотя и очень незначительно отличается от эллипса; в то время как в случае Луны отклонения намного больше. Но если сравнить движения планеты в две совершенно разные эпохи, хотя в каждом случае описываемый путь очень близок к эллипсу, то эллипсы в некоторых отношениях различаются. Например, между временами Птолемея (150 г. н.э.) и Эйлера направление линии апсиды земной орбиты изменилось примерно на 5 °, и некоторые другие элементы также незначительно изменились. Следовательно, при рассмотрении движения планеты в течение длительного периода времени удобно ввести идею эллиптической траектории, которая постепенно меняет свое положение и, возможно, также свой размер и форму. Одним из следствий является то, что фактический путь, описываемый в ходе значительного числа оборотов, представляет собой кривую, уже не имеющую большого сходства с эллипсом. Если, например, линия апсиды равномерно поворачивается, в то время как другие элементы остаются неизменными, описанный путь аналогичен показанному на рисунке.

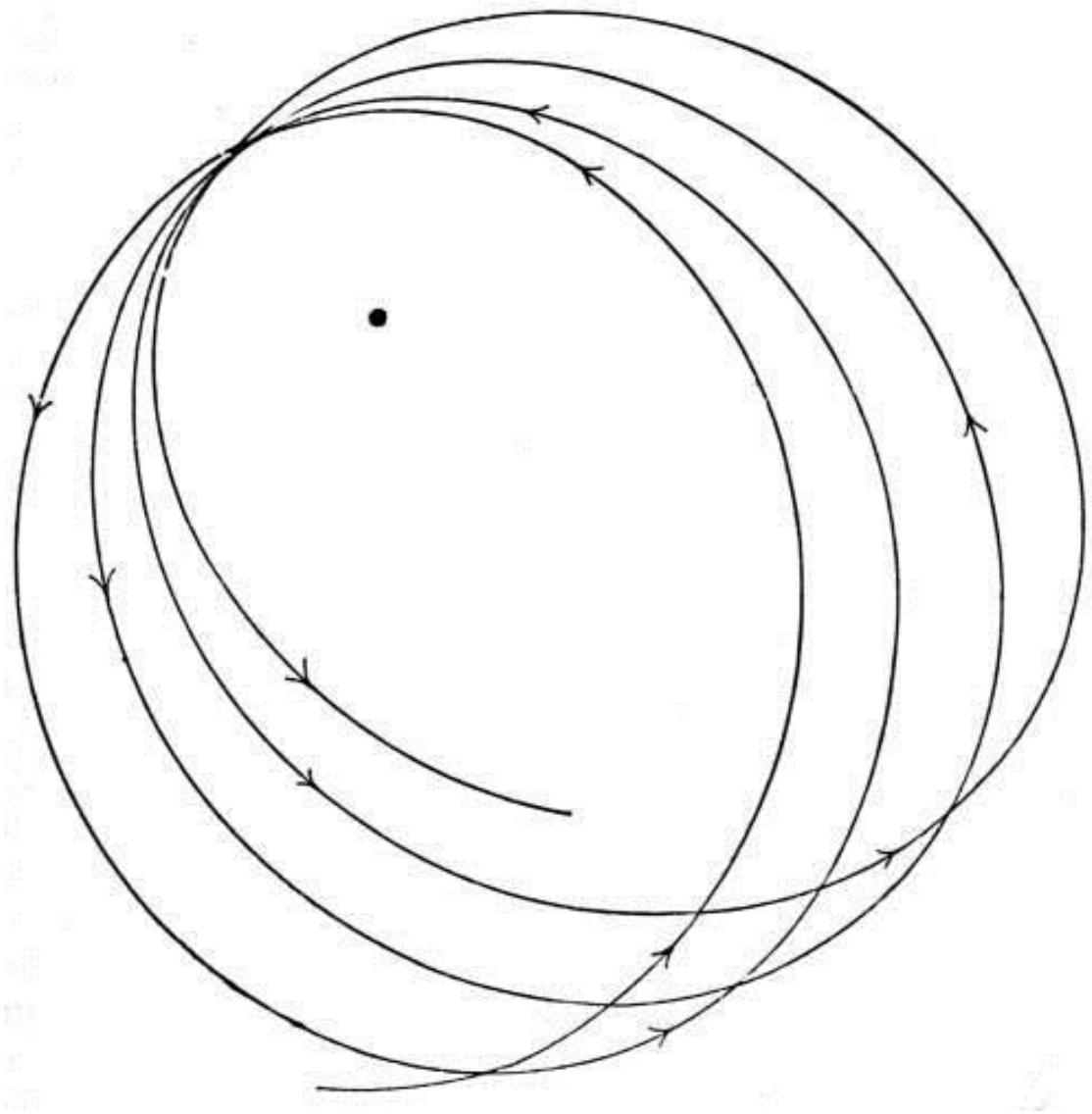


Рис. 81. Изменяющийся эллипс.

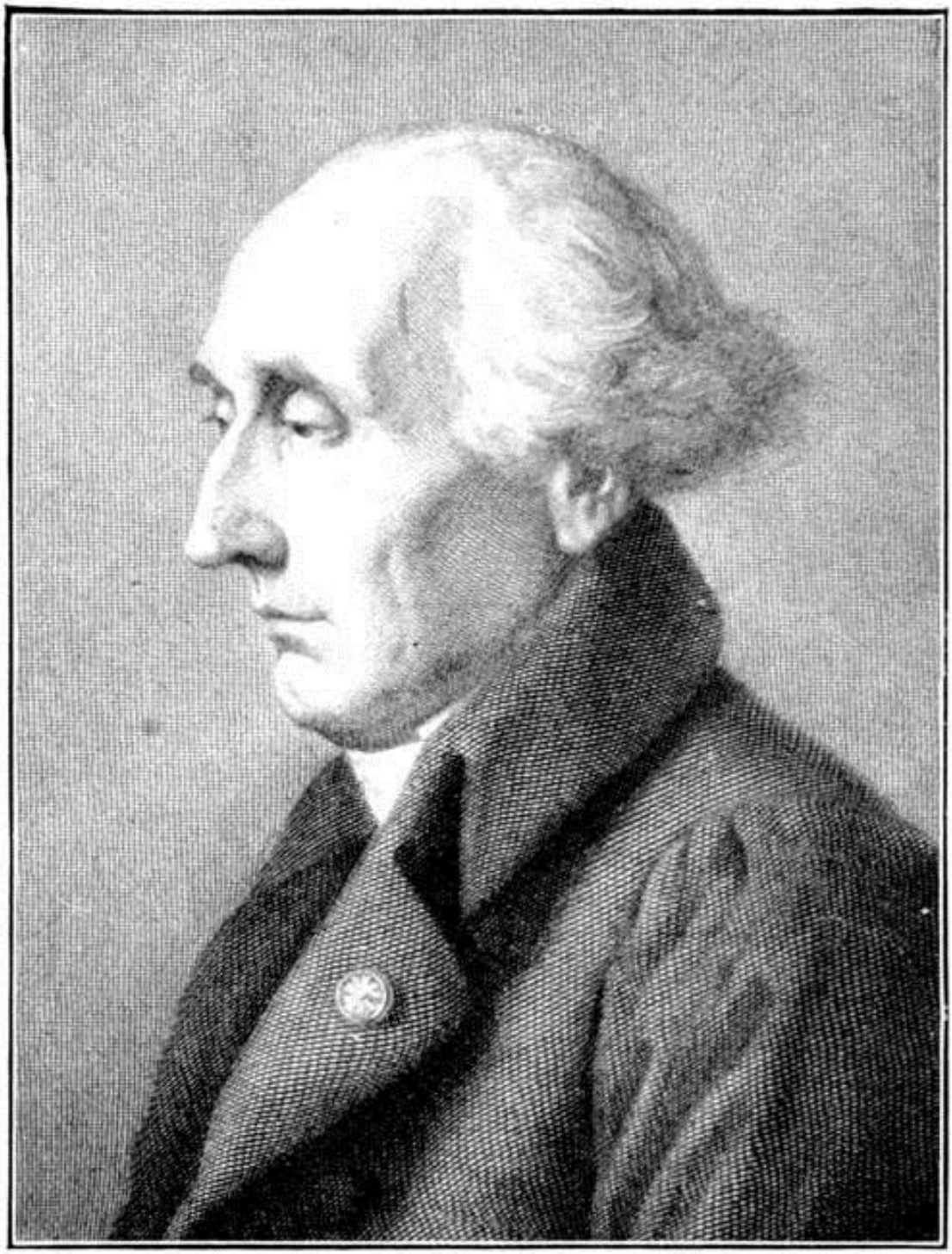
Эйлер расширил эту идею, чтобы представить любое возмущение планеты, независимо от того, происходит ли оно в течение одного оборота или в течение более длительного времени, посредством изменений эллиптической орбиты. Ибо где бы ни находилась планета и какова бы (в определенных пределах140) ни была ее скорость или направление движения, можно найти некоторый эллипс, имеющий солнце в одном фокусе, так что можно рассматривать планету как движущуюся в нем в течение короткого времени. Следовательно, поскольку планета описывает возмущенную орбиту, ее можно рассматривать как движущуюся в любой момент по эллипсу, который, однако, постоянно изменяет свое положение или другие характеристики. Таким образом, проблема обсуждения движения планеты превращается в проблему определения элементов эллипса, которые представляют ее движение в любой момент времени. Далее Эйлер показал, как, когда известно положение возмущающей планеты, можно вычислить соответствующие скорости изменения элементов изменяющегося эллипса, и добился некоторого прогресса в выводе из этих данных действительных элементов; но он обнаружил, что математические трудности слишком велики, чтобы их можно было преодолеть, за

исключением некоторых более простых случаев, и показать всю мощь метода было предоставлено следующему поколению математиков, в частности Лагранжу.

237. *Жозеф Луи Лагранж* родился в Турине в 1736 году, когда Клеро только отправлялся в Лапландию, а Д'Аламбер был еще ребенком; он происходил из французской семьи, три поколения которой жили в Италии. Он проявил незаурядный математический талант и, когда был еще совсем мальчиком, был назначен профессором Артиллерийского училища в своем родном городе, где его ученики были старше его самого. Несколько лет спустя он был главным инициатором основания научного общества, впоследствии Туринской академии наук, которая опубликовала в 1759 году свой первый том "Трудов", содержащий несколько математических статей Лагранжа, написанных за последние несколько лет. Одно из них141 произвело такое впечатление на Эйлера, который специально изучал рассматриваемый предмет, что он сразу же добился для Лагранжа чести поступить в Берлинскую академию.

В 1764 году Лагранж получил премию Парижской академии за эссе о либрации Луны. В этом эссе он не только дал первое удовлетворительное, хотя и все еще неполное, обсуждение либраций (глава vi.,§ 133) Луны из-за несферических форм как земли, так и Луны, но также представил чрезвычайно общий метод рассмотрения динамических проблем,142 который является основой почти всех высших разделов динамики, которые были разработаны до настоящего времени.

Два года спустя (1766) Фридрих II по предложению Д'Аламбера попросил Лагранжа сменить Эйлера (который только что вернулся в Санкт-Петербург) на посту главы математической секции Берлинской академии, мотивируя это тем, что величайший король Европы желает иметь при своем дворе величайшего математика Европы. Лагранж принял это великолепно выраженное приглашение и провел следующий 21 год в Берлине.



ЛАГРАНЖ.

[*Лицом к лицу, стр. 305.*

В этот период он опубликовал выдающуюся серию статей по астрономии, общей динамике и целому ряду предметов чистой математики. Несколько наиболее важных астрономических работ были отправлены в Париж и получили призы, предложенные Академией; большинство других работ — всего около 60 — были опубликованы Берлинской академией. В этотпериод он

написал также свою великую *механическую аналитику*, одну из самых красивых из всех математических книг, в которой он полностью развил общие динамические идеи, содержащиеся в более ранней статье о либрации. Любопытно, что ему было очень трудно найти издателя для своего шедевра, и он появился только в 1788 году в Париже. Годом ранее он покинул Берлин из-за смерти Фридриха и принял приглашение Людовика XVI. поступить в Парижскую академию. Примерно в это же время он страдал от одного из приступов меланхолии, которые периодически охватывали его и которые, как обычно предполагается, были вызваны переутомлением во время его карьеры в Турине. Говорят, что он никогда не заглядывал в *"Механическую аналитику"* в течение двух лет после ее публикации и проводил большую часть времени за химией и другими разделами естествознания, а также за ненаучными занятиями. В 1790 году он был назначен президентом Комиссии, назначенной для разработки новой системы мер и весов, результатом которой стало установление метрической системы; и научная работа, связанная с этим начинанием, постепенно восстановила его интерес к математике и астрономии. Он всегда избегал политики и прошел через Революцию невредимым, в отличие от своего друга Лавуазье, великого химика, и Байи, историка астрономии, которые оба были гильотинированы во время Террора. На самом деле он пользовался большим почетом у различных правительств, правивших Францией вплоть до его смерти; в 1793 году он был специально освобожден от действия указа о высылке, направленного против всех иностранцев; впоследствии он был назначен профессором математики, сначала в Нормальной школе (1795), затем в Политехнической школе (1797), последнее назначение сохранялось до его смерти в 1813 году. В этот период своей жизни он опубликовал, в дополнение к большому количеству статей по астрономии и математике, три важные книги по чистой математике,143 и на момент своей смерти еще не совсем закончил второе издание *Аналитической механики*, второй том которого вышел посмертно.

238. *Пьер Симон Лаплас*, сын мелкого фермера, родился в Бомоне в Нормандии в 1749 году, таким образом, будучи на 13 лет моложе своего великого соперника Лагранжа. Благодаря помощи состоятельных соседей он стал сначала учеником, а затем преподавателем в Военном училище своего родного города. Когда ему было 18 лет, он отправился в Париж с рекомендательным письмом к Д'Аламберу и, когда на него не обратили внимания, написал ему письмо о принципах механики, которое произвело на Д'Аламбера такое сильное впечатление, что он сразу заинтересовался молодым математиком и добился для него назначения в Военное училище в Париже. С этого времени Лаплас постоянно жил в Париже, занимая различные официальные должности. Его первая статья (о чистой математике) была опубликована в "Трудах Туринской академии" за 1766-69 годы, и с этого времени до конца своей жизни он выпустил непрерывную серию статей и книг по астрономии и смежным разделам математики.

Работы Лапласа по астрономии были в значительной степени включены в его *"Механику Селеста"*, пять томов которой вышли с интервалом между 1799 и 1825 годами. В этом великом трактате он стремился подвести итог всему, что было сделано в развитии гравитационной астрономии со времен Ньютона. Единственной другой астрономической книгой, которую он опубликовал, была "*Изложение системы мира"* (1796), один из самых совершенных и очаровательно написанных популярных трактатов по астрономии, когда-либо опубликованных, в котором великий математик никогда не использует ни алгебраическую формулу, ни геометрическую диаграмму. Он опубликовал также в 1812 году подробный трактат о теории вероятности,144, на котором были основаны почти все последующие разработки в этой области, а в 1819 году - более популярное *философское сочинение* на ту же тему.

П. С. ЛАПЛАС.

[*Лицом к лицу, стр. 307.*

Личность Лапласа, по-видимому, была менее привлекательной, чем личность Лагранжа. Он тщеславился своей репутацией математика и не всегда был щедр к соперничающим первооткрывателям. Однако с Лагранжем он всегда был дружелюбен, а также любезно помогал молодым многообещающим математикам. Хотя он был безукоризненно честен и отважен в отстаивании своих научных и философских взглядов, его политика, несомненно, имела сходство с политикой викария из Брея, и проводилась им с большим успехом. Он был назначен членом Комиссии мер и весов, а затем Бюро долгот и стал профессором Нормальной школы при ее основании. Когда Наполеон стал первым консулом, Лаплас попросил и получил пост министра внутренних дел, но — к счастью для науки — был признан совершенно некомпетентным и вынужден был уйти в отставку через шесть недель (1799 г.)145; в качестве компенсации он был назначен членом недавно созданного Сената. Третий том *“Целестской механики”*, опубликованный в 1802 году, содержал посвящение "Героическому умиротворителю Европы", от руки которого он впоследствии получил различные другие отличия и которым он был произведен в графы при образовании империи. После реставрации Бурбонов в 1814 году он предложил им свои услуги и впоследствии был произведен в маркизы. В 1816 году он также удостоился весьма необычной для математика чести (разделяемой, однако, Д'Аламбером), будучи избранным одним из сорока “Бессмертных” *Французской академии*; этим отличием он, по-видимому, во многом обязан литературному совершенству *Системы мира*.

Несмотря на эти отвлекающие факторы, он упорно работал над математикой и астрономией и даже после завершения *"Механики Селеста"* написал к ней дополнение, которое было опубликовано после его смерти (1827).

Его последние слова: “*Что такое знание людей избранных, что такое невежество людей необъятных*”, произнесенные человеком, который так много добавил к знаниям, показывают его характер в более приятном аспекте, чем это иногда проявлялось на протяжении его карьеры.

239. За исключением статьи Лагранжа о либрации, почти весь важный вклад Лагранжа и Лапласа в астрономию был сделан, когда работа Клеро и Д'Аламбера была почти завершена, хотя деятельность Эйлера продолжалась еще почти 20 лет. Лагранж, однако, пережил его на 30 лет, а Лапласа более чем на 40; и вместе они подняли астрономическую науку на гораздо более высокую ступень развития, чем их три предшественника.

240. В лунную теорию Лагранж внес сравнительно небольшой вклад, за исключением общих методов, применимых как к этой, так и к другим проблемам астрономии; но Лаплас уделял ей большое внимание. Из его специальных открытий в этой области наиболее примечательным было его объяснение векового ускорения среднего движения Луны (глава X.,§ 201), которое озадачило столь многих астрономов. Лагранж пытался объяснить это (1774), но потерпел настолько полную неудачу, что был склонен дискредитировать ранние наблюдения, на которых основывалось существование этого явления. Лаплас, безуспешно испробовав обычные методы, попытался объяснить это, предположив, что гравитация - это эффект, который не передается мгновенно, но что, подобно свету, требуется время, чтобы пройти путь от притягивающего тела к притягиваемому; но и это не удалось. В конце концов он проследил это

(1787) до косвенного планетарного эффекта. Ибо, как это бывает, определенные возмущения, которые испытывает Луна вследствие действия солнца, зависят, среди прочего, отэксцентриситета земной орбиты; это один из элементов (§ 236), который изменяется под действием планет и в течение многих столетий очень медленно уменьшался; следовательно, рассматриваемое возмущение изменяется очень незначительно, и средняя скорость движения Луны вследствие этого очень медленно увеличивается, или продолжительность месяца уменьшается. Весь эффект чрезмерно мимолетен и становится заметным только по прошествии длительного времени. Расчеты Лапласа показали, что луна в течение столетия, или примерно за 1300 полных оборотов, увеличится благодаря этой причине примерно на 10" (точнее, на 10"· 2), так что ее положение на небе будет на эту величину отличаться от того, каким оно было бы, если бы этой возмущающей причины не существовало; через два столетия полученный угол составит 40", через три столетия 90" и так далее. Это можно выразить иначе, сказав, что продолжительность месяца уменьшается примерно на одну тридцатую секунды в течение столетия. Более того, как показал Лаплас (§ 245), эксцентриситет земной орбиты не будет уменьшаться бесконечно, но после огромного периода, исчисляемого тысячами лет, начнет увеличиваться, и, как следствие, движение Луны снова замедлится.

Результат Лапласа почти в точности соответствовал результату, указанному наблюдением; и, таким образом, последнее известное важное расхождение в солнечной системе между теорией и наблюдениями, по-видимому, было объяснено; и по любопытному совпадению это произошло всего через сто лет после публикации*Principia*.

Однако много лет спустя выяснилось, что объяснение Лапласа было гораздо менее полным, чем казалось в то время (глава XIII, § 287).

То же исследование показало Лапласу существование изменений аналогичного характера и по той же причине в других элементах орбиты Луны, которые, хотя и не были замечены ранее, были обнаружены древними наблюдениями затмений.

241. Третий том *"Механики Селеста"* содержит общее изложение лунной теории, основанное на методе, полностью отличном от любого из использовавшихся ранее, и разработанном в мельчайших деталях. “Моя цель, ” говорит Лаплас, - в этой книге состоит в том, чтобы показать в едином законе всемирного тяготения источник всех неравенств в движении Луны, а затем использовать этот закон как средство открытия, усовершенствовать теорию этого движения и вывести из нее несколько важных элементов в системе Луны”. Сам Лаплас не рассчитывал лунных таблиц, но венский астроном *Джон Тобиас Бюрг* (1766-1834) широко использовал его формулы вместе с огромным количеством гринвичских наблюдений для построения лунных таблиц, которые были отправлены в Институт Франции в 1801 году (до публикации полной теории Луны Лапласа) и опубликованы в слегка измененном виде в 1806 году. Несколько лет спустя (1812 г.) *Джон Чарльз Буркхардт* (1773-1825), немец, поселившийся в Париже и работавший под руководством Лапласа и Лаланда, создал новый набор таблиц, основанный непосредственно на формулах из *Мексиканской Селесты*. Они были общеприняты вместо методов Бюрга, которые, в свою очередь, были улучшением методов Мейсона и Майера.

Более поздние работы по лунной теории удобно рассматривать как относящиеся к новому периоду астрономии (глава XIII,§ 286).

242. Наблюдения показали существование неравенств в движении планет и Луны, которые, по-видимому, принадлежат к двум разным классам. С одной стороны, были неравенства, такие как большинство неравенств Луны, которые проходили свой цикл изменений за один оборот илинесколько оборотов возмущающего тела; а с другой стороны, такие неравенства, как вековое ускорение среднего движения Луны или движение земных апсид, при которых наблюдалось непрерывное возмущение, всегда действующее в одном и том же направлении и не проявляющее никаких признаков прохождения периодического цикла изменений.

Математическая обработка возмущений вскоре показала желательность применения различных методов обработки для двух классов неравенств, которые примерно, хотя и не совсем, соответствовали только что упомянутым и к которым постепенно стали присоединяться названия**периодических** и **вековых**. Это различие играет значительную роль в работе Эйлера (§ 236), но именно Лагранж первым осознал его всю важность, особенно для планетарной теории, и провел специальное исследование вековых неравенств.

Когда изучаются возмущения одной планеты другой, возникает необходимость получить математическое выражение для возмущающей силы, которую оказывает вторая планета. Это выражение в общем случае зависит как от элементов двух орбит, так и от положения планет в рассматриваемый момент времени. Однако его можно разделить на две части, одна из которых зависит от положений планет (а также от элементов), в то время как другая зависит только от элементов двух орбит и не зависит от положений на своих траекториях, которые планеты могут занимать в данный момент. Поскольку положения планет на их орбитах быстро меняются, первая часть возмущающей силы быстро изменяется и, как правило, через короткие промежутки времени производит эффекты в противоположных направлениях, сначала, например, ускоряя, а затем замедляя движение возмущенной планеты; и соответствующие неравенства движения являются периодическими неравенствами, которые по большей части проходят полный цикл изменений в течение нескольких оборотов планет или даже более быстрыми темпами. Другая часть возмущающей силы остается почти неизменной в течение значительного периода и вызывает изменения в элементах, которые, хотя в целом и очень малы, остаются в течение длительного времени без ощутимых изменений и, следовательно, постоянно накапливаются, становясь значительными с течением времени: таковы вековые неравенства.

Говоря в целом, мы можем сказать, что периодическое неравенство является временным, а светское неравенство постоянным по своим последствиям, или, как выражается сэр Джон Гершель:

“Светское неравенство - это, по сути, не что иное, как то, что остается после взаимного уничтожения гораздо большего количества (как это очень часто бывает) периодических изданий. Но они по своей природе преходящи и недолговечны; они исчезают за короткие промежутки времени и не оставляют никаких следов. Планета временно снимается со своей орбиты (ее медленно изменяющейся орбиты), но немедленно возвращается на нее, чтобы в настоящее время отклониться на столько же в другую сторону, в то время как изменяющаяся орбита приспосабливается к среднему значению этих отклонений по обе стороны от нее”.146

Однако “Временный” и “краткосрочный” - термины относительные. Некоторые периодические неравенства, особенно в случае Луны, имеют периоды продолжительностью всего в несколько

дней, а большинство важных растягиваются всего на несколько лет; но известны некоторые, которые длятся столетиями или даже тысячами лет, и их часто можно рассматривать как светские, когда мы хотим рассмотреть интервал всего в несколько лет. С другой стороны, большинство известных вековых неравенств на самом деле не являются постоянными, а колеблются, подобно периодическим неравенствам, хотя и только в течение огромных периодов времени, которые обычно исчисляются десятками тысяч лет.

Одно из различий между лунной и планетарной теориями состоит в том, что в первой периодические неравенства сравнительно велики и, особенно для практических целей, таких как вычисление положения Луны через несколько месяцев, имеют большое значение; тогда как периодические неравенства планет, как правило, невелики, а вековые неравенства наиболее интересны.

Метод рассмотрения элементов эллиптических орбит как переменных особенно подходит для вековых неравенств; но для периодических неравенств обычно лучше рассматривать тело как отклоняющееся от эллиптической траектории и изучать эти отклонения.

“Простейший способ оценить эти различные возмущения состоит в том, чтобы представить планету, движущуюся в соответствии с законами эллиптического движения по эллипсу, элементы которого изменяются в незначительной степени; и в то же время представить, что настоящая планета совершает колебания вокруг этой фиктивной планеты по очень маленькой орбите, природа которой зависит от ее периодических возмущений”.147

Первый метод, во многом обязанный, как мы видели, Эйлеру, был усовершенствован и широко использовался Лагранжем и часто носит его имя.

243. Сначала, естественно, предполагалось, что медленное изменение скоростей движений Юпитера и Сатурна (§ § 235, 236 и глава X., § 204) было вековым неравенством; Лагранж в 1766 году предпринял попытку объяснить его на этой основе, которая, хотя и все еще безуспешная, представляла наблюдения лучше, чем работа Эйлера. Лаплас в своей первой статье о вековых неравенствах (1773) с помощью более полного анализа обнаружил, что вековые изменения скоростей движений Юпитера и Сатурна, по-видимому, полностью исчезли, и попытался объяснить движения с помощью гипотезы, столь часто используемой астрономами в трудных ситуациях, что причиной была комета.

В 1773 году *Джон Генри Ламберт* (1728-1777) в результате изучения наблюдений обнаружил, что, хотя Галлей обнаружил, что Сатурн движется медленнее, чем в древние времена, теперь он движется быстрее, чем во времена Галлея, — вывод, который указывал на какую-то изменчивую или периодическую причину.

Наконец, в 1784 году Лаплас пришел к истинному объяснению. Лагранж заметил в 1776 году, что если времена обращения двух планет точно пропорциональны двум целым числам, то часть периодической возмущающей силы вызывает вековые изменения в их движении, постоянно действуя в одном и том же направлении; хотя он указал, что такого случая в солнечной системе не было. Более того, если времена обращения *почти* пропорциональны двум целым числам (ни одно из которых не является очень большим), то часть периодической возмущающей силы создает нерегулярность, которая не является строго временной, но имеет очень длительный период; и возмущающая сила, настолько малая, что ее можно обычно не замечать, может, если она такого рода, произвести значительный эффект.148 Теперь Юпитер и Сатурн обращаются

вокруг Солнца примерно за 4333 дня и 10 759 дней соответственно; в пять раз первое число равно 21 665, в два раза больше второго. 21 518, что совсем немного меньше. Следовательно, имеет место исключительный случай; и при его рассмотрении Лаплас обнаружил заметное неравенство с периодом около 900 лет, которое удовлетворительно объясняло наблюдения.

Неравенства этого класса, из которых было обнаружено несколько других, известны как**длительные неравенства**и могут рассматриваться как связующие звенья между вековыми неравенствами и периодическими неравенствами обычного вида.

244. Открытие того, что наблюдаемое неравенство Юпитера и Сатурна не было вековым, можно рассматривать как первый шаг в замечательной серии исследований вековых неравенств, проведенных Лагранжем и Лапласом, по большей части между 1773 и 1784 годами, что привело к некоторым из наиболее интересных и общих результатов во всей гравитационной астрономии. Два астронома, хотя и жили соответственно в Берлине и Париже, находились в постоянном общении, и едва ли один из них добился какого-либо важного прогресса, который не был бы немедленно использован и развит другим.

Центральной проблемой были вековые изменения элементов орбиты планеты, рассматриваемой как изменяющийся эллипс. Три из этих элементов - ось эллипса, его эксцентриситет и наклон его плоскости к фиксированной плоскости (обычно эклиптике) - имеют гораздо большее значение, чем остальные три. Первые два элемента - это элементы, от которых зависят размер и форма орбиты, и первый также определяет (согласно Третьему закону Кеплера) период обращения и среднюю скорость движения планеты;149 третий оказывает важное влияние на взаимоотношения двух планет. Остальные три элемента имеют наибольшее значение для периодических проявлений неравенства.

Более того, следует отметить, что эксцентриситеты и наклоны во всех случаях (за исключением особо упомянутых) рассматривались как малые величины; и, таким образом, все исследования были приблизительными, эти величины и сами возмущающие силы рассматривались как малые.

245. Основой всей серии исследований послужила длинная статья, опубликованная Лагранжем в 1766 году, в которой он объяснил метод изменения элементов и дал формулы, связывающие скорость их изменения с возмущающими силами.

В своей статье 1773 года Лаплас обнаружил, что то, что верно для Юпитера и Сатурна, имеет более общее применение, и доказал, что в случае любой планеты, возмущенной любой другой, ось не только не претерпевает вековых изменений в настоящее время, но и не могла заметно измениться с “того времени, когда начала культивироваться астрономия”.

В следующем году Лагранж получил выражение для векового изменения наклона, *действительное для всех времен*. Когда это было применено к случаю Юпитера и Сатурна, которые из-за их превосходства в размерах и большого расстояния от других планет можно было разумно рассматривать как образующие с солнцем отдельную систему, оказалось, что изменения в наклонах всегда будут носить периодический характер, так что они никогда не смогут выйти за определенные установленные пределы, не сильно отличаясь от существующих значений. Аналогичный результат справедлив и для системы, образованной Солнцем, Венерой, землей и Марсом. Более того, Лагранж заметил, что были случаи, которых, по его словам, к счастью, не существовало в системе мира, в которых, напротив, наклонности могли

увеличиваться бесконечно. Различие зависело от масс рассматриваемых тел; и хотя массы всех планет были несколько неопределенными, а те, которые Лагранж предположил для Венеры и Марса, почти полностью предположительными, не представлялось, что какое-либо разумное изменение расчетных масс повлияло бы на общий сделанный вывод.

Два года спустя (1775) Лаплас, сильно пораженный методом, который использовал Лагранж, применил его к обсуждению вековых изменений эксцентриситета и обнаружил, что они также носят периодический характер, так что эксцентриситет также не может увеличиваться или уменьшаться бесконечно.

В следующем году Лагранж в замечательной статье всего на 14 страницах доказал, что независимо от того, считались эксцентриситеты и наклоны малыми или нет, и какими бы ни были массы планет, изменения длины оси любой планетной орбиты обязательно были периодическими, так что в течение всего времени длина оси могла колебаться только в определенных пределах. Этот результат, однако, все еще был основан на предположении, что возмущающие силы можно рассматривать как небольшие.

Затем последовала серия из пяти статей, опубликованных между 1781 и 1784 годами, в которых Лагранж подвел итог своей предыдущей работе, пересмотрел и усовершенствовал свои методы и применил их к периодическим неравенствам и различным другим проблемам.

Наконец, в 1784 году Лаплас в той же статье, в которой он объяснял длительное неравенство Юпитера и Сатурна, установил чрезвычайно простым методом два замечательных соотношения между эксцентриситетами и наклонениями планет или любого подобного набора тел.

Первое отношение таково:—

Если массу каждой планеты умножить на квадратный корень из оси ее орбиты и на квадрат эксцентриситета, то сумма этих произведений для всех планет остается неизменной, за исключением периодических неравенств.

Второй в точности аналогичен, за исключением того, что эксцентриситет заменен наклоном.150

Первое из этих предположений устанавливает существование того, что можно назвать запасом эксцентриситета, общим для планет солнечной системы. Если эксцентриситет какой-либо одной орбиты увеличивается, эксцентриситет какой-либо другой орбиты должен претерпеть соответствующее уменьшение. Также средства фонда никогда не могут быть израсходованы. Более того, наблюдения показывают, что эксцентриситеты всех планетных орбит малы; следовательно, весь фонд невелик, и доля, принадлежащая в любое время какой-либо одной планете, должна быть небольшой.151 Следовательно, эксцентриситет орбиты планеты, масса которой и расстояние от Солнца значительны, никогда не может сильно увеличиться, и аналогичный вывод справедлив для наклонов различных орбит.

В этих двух положениях предполагается одна замечательная характеристика солнечной системы, а именно, что все планеты вращаются вокруг солнца в одном и том же направлении, которое наблюдателю, находящемуся на северной стороне орбит, кажется противоположным тому, в котором движутся стрелки часов. Если бы какая-либо планета двигалась в противоположном направлении, соответствующие части фонда эксцентриситета и наклона

пришлось бы вычитать, а не добавлять; и ничто не могло бы предотвратить перерасход средств фонда.

Несколько аналогичное ограничение содержится в более ранних результатах Лапласа относительно невозможности постоянного изменения эксцентриситетов, хотя могла бы существовать система, в которой его результат все равно был бы верен, если бы один или несколько ее элементов вращались в направлении, отличном от остальных, но в этом случае должны были бы существовать определенные ограничения на пропорции орбит, не требуемые в другом случае.

Вкратце, результаты, установленные двумя астрономами, заключались в том, что изменения оси, эксцентриситета и наклона орбиты любой планеты постоянно ограничены в определенных пределах. Возмущения, вызванные планетами, заставляют все эти величины претерпевать колебания ограниченной степени, некоторые из которых, вызванные периодическими возмущающими силами, претерпевают свои изменения за сравнительно короткие периоды, в то время как другим, вызванным вековыми силами, требуются огромные промежутки времени для их завершения.

Таким образом, можно сказать, что стабильность солнечной системы была установлена в той мере, в какой принимались во внимание конкретные астрономические причины.

Более того, если мы возьмем случай Земли как обитаемой планеты, любое значительное изменение оси, то есть среднего расстояния от солнца, привело бы к более чем пропорциональному изменению количества тепла и света, получаемых от солнца; любое значительное увеличение эксцентриситета в значительной степени увеличило бы ту часть (в настоящее время очень малую) наших сезонных колебаний тепла и холода, которая обусловлена изменением расстояния от солнца; в то время как любое изменение положения эклиптики, которое не сопровождалось соответствующим изменением экватора и приводило к увеличению угла между двумя полюсами. , в значительной степени увеличило бы колебания температуры в течение года. Таким образом, доказанная стабильность является гарантией от определенных видов значительных климатических изменений, которые могут серьезно повлиять на обитаемость земли.

Возможно, просто стоит отметить, что результаты, установленные Лагранжем и Лапласом, были математическими следствиями, полученными процессами, включающими пренебрежение определенными малыми величинами и, следовательно, не совсем строгими, из определенных гипотез, с которыми фактические условия солнечной системы имеют довольно близкое сходство. Следовательно, помимо причин, в настоящее время непредвиденных, вполне разумно ожидать, что в течение очень значительного периода времени движения реальных тел, образующих солнечную систему, могут очень близко соответствовать этим результатам; но нет веской причины, по которой определенные возмущающие причины, игнорируемые или отвергаемые Лапласом и Лагранжем из-за их незначительности, рано или поздно не должны были бы произвести весьма заметных эффектов (ср. глава XIII,§ 293).

246. Некоторые численные результаты Лапласа относительно вековых изменений элементов могут дать представление об рассматриваемых величинах.

Линия апсид каждой планеты движется в одном направлении; наиболее быстрое движение, происходящее в случае Сатурна, составило около 15 дюймов в год, или, скорее, менее половины градуса за столетие. Если бы это движение продолжалось равномерно, линии апсид потребовалось бы не менее 80 000 лет, чтобы совершить полный оборот и вернуться в свое первоначальное положение. Движение линии узлов (или линии, в которой плоскость орбиты планеты пересекается с плоскостью эклиптики) в целом оказалось гораздо более быстрым. Ежегодное изменение наклона любой орбиты к эклиптике ни в коем случае не превышало доли секунды; в то время как изменение эксцентриситета орбиты Сатурна, которое было значительно большим, если бы продолжалось в течение четырех столетий, составило бы всего 1 × 1000.

247. Теория вековых неравенств была рассмотрена довольно подробно из-за общего характера полученных результатов. Однако для целей прогнозирования положения планет на умеренных расстояниях во времени периодические неравенства имеют большее значение. Они также были очень подробно обсуждены как Лагранжем, так и Лапласом, причем детальная разработка в форме, пригодной для численных расчетов, была во многом обусловлена последним. На основе формул, приведенных Лапласом и собранных в *"Небесной механике"*, было рассчитано несколько наборов таблиц солнца и планет, которые, как было установлено, в целом точно отражают наблюдаемые движения и которые заменили более ранние таблицы, основанные на менее развитых теориях.152

248. В дополнение к лунной и планетарной теориям почти все второстепенные проблемы гравитационной астрономии были заново рассмотрены Лапласом, во многих случаях с помощью методов Лагранжа, и их решение во всех случаях было продвинутым.

Теория спутников Юпитера, которые вместе с Юпитером образуют своего рода миниатюрную солнечную систему, но с несколькими характерными особенностями, была полностью рассмотрена; другие спутники обсуждались менее полно. Некоторый прогресс был также достигнут с теорией кольца Сатурна, показав, что оно не может быть однородным твердым телом.

Прецессия и нутация были рассмотрены гораздо полнее, чем у Д'Аламбера; также были рассмотрены смежные проблемы, связанные с неравномерностями вращения Луны и кольца Сатурна.

Фигура земли рассматривалась гораздо более общим образом, чем у Клеро, без нарушения, однако, существенной точности его выводов; и теория приливов была полностью реконструирована и значительно улучшена, хотя значительный разрыв между теорией и наблюдениями все еще оставался.

Теория возмущений также была модифицирована таким образом, чтобы ее можно было применить к кометам, и из наблюдения кометы (известной как Лекселла), которая появилась в 1770 году и, как было обнаружено, прошла близко к Юпитеру в 1767 году, был сделан вывод, что ее орбита была полностью изменена притяжением Юпитера, но, с другой стороны, она была

неспособна оказывать сколько-нибудь заметное возмущающее влияние на Юпитер или его спутники.

Поскольку, с одной стороны, полный расчет возмущений различных тел солнечной системы предполагает знание их масс, то, наоборот, если величины этих возмущений могут быть получены из наблюдений, их можно использовать для определения или корректировки значений нескольких масс. Таким образом, были рассчитаны массы Марса и спутников Юпитера, а также Венеры (§ 235) и пересмотрены массы Луны и других планет. Однако в случае Меркурия не удалось удовлетворительно наблюдать никакого возмущения какой-либо другой планеты, и — за исключением того, что было известно, что она мала, — ее масса долгое время оставалась предметом догадок. Только через несколько лет после смерти Лапласа эффект, произведенный им на комету, позволил оценить ее массу (1842), и даже сейчас масса очень неопределенна.

249. Благодаря работам великих астрономов-математиков 18 века, результаты которых были обобщены в*"Небесной механике"*, было показано, что можно объяснить наблюдаемые движения тел Солнечной системы с приемлемой степенью точности с помощью закона всемирного тяготения.

Проблема Ньютона (§ 228), таким образом, была решена приближенно, и согласие между теорией и наблюдениями в большинстве случаев было достаточно близким для практической цели прогнозирования на умеренное время расположения различных небесных тел. Сохраняющиеся расхождения между теорией и наблюдениями были по большей части настолько малы по сравнению с теми, которые уже были устранены, что оставляли почти всеобщее убеждение в том, что их можно объяснить ошибками наблюдения, недостаточной точностью расчетов или какой-либо подобной причиной.

250. За пределами круга профессиональных астрономов и математиков Лаплас наиболее известен не как автор*Механики Селеста*, а как изобретатель **Небулярной гипотезы**.

Это знаменитое предположение было опубликовано (в 1796 году) в уже упомянутой им популярной книге "*Система мира"* и почти наверняка не зависело от несколько похожей, но менее подробной теории, которая была предложена философом *Иммануилом Кантом* в 1755 году.

Лаплас был поражен некоторыми замечательными характеристиками солнечной системы. Семь известных ему планет, когда он писал, вращались вокруг солнца в том же направлении, четырнадцать спутников вращались вокруг своих основных звезд все в том же направлении,153 и все известные движения солнца, планет и спутников вокруг своих осей подчинялись тому же закону. Таким образом, было сделано около 30 или 40 движений, все в одном направлении. Если бы эти движения нескольких тел рассматривались как результат случайности и были независимы друг от друга, это единообразие было бы совпадением самого экстраординарного характера, столь же маловероятным, как то, что монета, подброшенная одинаковое количество раз, неизменно падает одной и той же лицевой стороной вверх.

Кроме того, все эти движения вращения были в плоскостях, но слегка наклоненных друг к другу; и эксцентриситеты всех орбит были довольно малы, так что они были почти круговыми.

Кометы, с другой стороны, не обладали ни одной из этих особенностей; их траектории были очень эксцентричными, они были наклонены под всеми углами к эклиптике и описывались в любом направлении.

Более того, не было известно никаких тел, образующих в этом отношении связующее звено между кометами и планетами или спутниками.154

Из этих замечательных совпадений Лаплас сделал вывод, что различные тела солнечной системы должны были иметь какое-то общее происхождение. Гипотеза, которую он предложил, заключалась в том, что они сконденсировались из тела, которое можно рассматривать либо как солнце с обширной атмосферой, заполняющей пространство, ныне занимаемое солнечной системой, либо как жидкую массу с более или менее уплотненной центральной частью или ядром; в то время как на более ранней стадии центрального уплотнения могло почти не существовать.

Наблюдения Гершеля (глава XII, §§ 259-61) недавно показали существование многих сотен тел, известных как туманности, которые имеют вид, очень близкий к тому, который можно было ожидать от примитивного тела Лапласа. Различия в структуре, которые они демонстрировали, некоторые из них были, по-видимому, почти бесструктурными массами какого-то чрезвычайно рассеянного вещества, в то время как другие демонстрировали явные признаки центрального уплотнения, а третьи снова выглядели как обычные звезды с небольшой атмосферой вокруг них, также наводили на мысль о последовательных стадиях какого-то процесса уплотнения.

Предположение Лапласа тогда состояло в том, что Солнечная система образовалась в результате конденсации туманности; и аналогичное объяснение было бы применимо к неподвижным звездам с планетами (если таковые имеются), которые их окружают.

Затем он несколько образно обрисовал процесс, посредством которого туманность, однажды наделенная вращательным движением, может при сжатии образовать серию колец, и каждое из них, в свою очередь, может сконденсироваться в планету со спутниками или без них; и привел в обоснование этой гипотезы правдоподобные причины многих особенностей солнечной системы.

Однако о поведении такого тела, как туманность Лапласа, при сжатии и вращении известно так мало, что вряд ли стоит вдаваться в подробности схемы.

О том, что сам Лаплас, которого никогда не обвиняли в недооценке важности собственных открытий, не относился к деталям своей гипотезы почти так же серьезно, как многие из ее толкователей, можно заключить как из того факта, что он опубликовал ее всего лишь в популярной книге, так и из его замечательного описания ее как “эти предположения о формировании звезд и солнечной системы, предположения, которые я излагаю со всем недоверием (*defiance*), которое должно вызывать все, что не является результатом наблюдений или расчетов”.155

ГЛАВА XII.
ГЕРШЕЛЬ.

“Coelorum perrupit claustra.”

Herschel’s *Гершеля*.

251. *Фредерик Уильям Гершель* родился в Ганновере 15 ноября 1738 года, через два года после Лагранжа и за девять лет до Лапласа. Его отец был музыкантом в ганноверской армии, и сын, проявивший замечательные способности к музыке, а также несомненный вкус к различного рода знаниям, поступил на службу к отцу еще мальчиком (1753). По окончании Семилетней войны он служил во время части кампании, но из—за слабого здоровья его родители “решили отстранить его от службы - шаг, сопряженный с немалыми трудностями”, и, соответственно, он был отправлен в Англию (1757) искать счастья в качестве музыканта.

После нескольких лет, проведенных в разных частях страны, он переехал (1766) в Бат, в то время один из крупнейших центров моды в Англии. Сначала будучи гобоистом в оркестре Линлэй, затем органистом Восьмиугольной капеллы, он быстро поднялся до очень популярного и выдающегося положения, как музыкант, так и преподаватель музыки. Он играл, дирижировал и сочинял музыку, и число его частных учеников росло так быстро, что количество уроков, которые он давал, достигало одновременно 35 внеделю. Но эта деятельность ни в коей мере не истощала его необычайной энергии; он никогда не терял вкуса к учебе, и, по словам современного биографа, “после утомительного 14-16-часового дня, проведенного на своем поприще, он уходил вечером с величайшим желанием*развеять ум*, если это можно так назвать, с помощью нескольких положений из "Приливов" Маклорена или других книг подобного рода”. Его занятия музыкой давным-давно пробудили в нем интерес к математике, и вполне вероятно, что изучение *гармоник* Роберта Смита привело его к *Завершенной системе оптики* того же автора, а значит, и к интересу к конструированию и использованию телескопов. Астрономия, которую он читал, вскоре вызвала у него желание самому увидеть то, что описано в книгах; сначала он взял напрокат небольшой телескоп-рефлектор, затем подумал о покупке инструмента побольше, но обнаружил, что цена была непомерно высока. Таким образом, он постепенно пришел к попытке сконструировать свои собственные телескопы (1773). Его брат Александр, для которого он нашел музыкальную работу в Бате и который, по-видимому, обладал значительным талантом механика, но не обладал упорством Уильяма, помогал ему в этом начинании, в то время как его преданная сестра *Каролина* (1750-1848), которую Уильям привез в Англию в 1772 году, не только вела хозяйство, но и оказывала множество мелких услуг. Операция шлифовки и полировки зеркала для телескопа была одной из величайших тонкостей и на определенном этапе требовала непрерывного труда в течение нескольких часов. Однажды рука Гершеля не отрывалась от полировального инструмента в течение 16 часов, так что “чтобы сохранить ему жизнь” Кэролайн была “вынуждена кормить его, отправляя еду по кусочкам ему в рот”, а в менее экстремальных случаях она помогала сделать операцию менее утомительной, читая вслух: с некоторым чувством облегчения мы слышим, что в этих случаях читались книги не по математике, оптике или астрономии, а такие, как *"Дон Кихот"*, "*Арабские ночи"*и романы Стерна и Филдинга.

252. После огромного количества неудач Гершелю удалось сконструировать сносный телескоп—рефлектор, за которым вскоре последовали другие, более крупные и совершенные, и

с его помощью он произвел свое первое зарегистрированное наблюдение туманности Ориона в марте 1774 года.

Это наблюдение, сделанное, когда ему было 36 лет, удобно рассматривать как начало его астрономической карьеры, хотя еще несколько лет музыка оставалась его профессией, а астрономией он мог заниматься только в свободное время, которое мог найти или выделить для себя; его биографы дают яркие картины его необычайной активности в этот период и его рвения использовать случайные отрезки времени, такие как интервалы между действиями в театре, для своих любимых телескопов.

Письмо, написанное им в 1783 году, дает хороший отчет о духе, в котором он в то время выполнял свою астрономическую работу:—

“Я решил ничего не принимать на веру, но увидеть собственными глазами то, что другие видели до меня.... Наконец мне удалось создать так называемый ньютоновский инструмент длиной 7 футов. От этого я продвинулся до одного из 10 футов и, наконец, до одного из 20, поскольку я полностью решил продолжать совершенствовать свои телескопы, насколько это возможно. Когда я тщательно усовершенствовал этот великий инструмент во всех его частях, я стал систематически использовать его в своих наблюдениях за небесами, предварительно приняв решение никогда не проходить мимо ни одной, даже самой маленькой, их части без должного исследования ”.

В соответствии с этим последним решением он четыре раза подряд, начиная с 1775 года, каждый раз с помощью инструмента большей мощности, чем предыдущий, проводил обзорвсего неба, в ходе которого все, что казалось сколько-нибудь примечательным, было замечено и, при необходимости, более тщательно изучено. Таким образом, он применял к астрономии методы, сравнимые с методами натуралиста, который стремится составить полный список флоры или фауны страны, доселе малоизвестной

253. В ходе второго из этих обзоров, сделанных с помощью телескопа ньютоновского типа длиной 7 футов, он сделал открытие (13 марта 1781 г.), которое принесло ему европейскую репутацию и позволило отказаться от музыки как профессии и посвятить всю свою энергию науке.

“Рассматривая маленькие звезды по соседству с*Геминорумом*, я заметил одну, которая казалась заметно крупнее остальных; пораженный ее необычным внешним видом, я сравнил ее с *Геминорумом* и маленькой звездой в квартиле между *Возней* и *Близнецами*, и, обнаружив, что она намного крупнее любой из них, я заподозрил, что это комета”.

Если бы подозрения Гершеля были верны, открытие представляло бы гораздо меньший интерес, чем оно было на самом деле, поскольку при дальнейших наблюдениях за новым телом и попытках рассчитать его траекторию было обнаружено, что ни одна обычная кометная орбита никоим образом не соответствует его движению, и в течение трех или четырех месяцев после открытия оно было признано — сначала *Андерсом Иоганном Лекселлом* (1740-1784) — не кометой, а новой планетой, вращающейся вокруг Солнца по почти круговой траектории, на расстоянии, примерно в 19 раз превышающем земное, и почти вдвое больше, чем у Сатурна.

В исторические времена не было открыто ни одной новой планеты, и поэтому достижение Гершеля было абсолютно уникальным; даже открытие спутников, начатое Галилеем (глава VI, §

121), прекратилось почти столетием ранее (1684 г.), когда Кассини обнаружил свою вторую пару спутников Сатурна (глава VIII,§ 160). Гершель хотел воспользоваться правом первооткрывателя на крещение, назвав новую планету в честь своего королевского покровителя *Георгия Сидуса*, но, хотя это название некоторое время использовалось в Англии, континентальные астрономы так и не приняли его, и после неудачной попытки назвать новое тело*Гершелем*, в целом было решено дать название, подобное другим планетам, и *Уран* был предложен и принят.

Хотя к этому времени Гершель опубликовал две или три научные статьи и, вероятно, был в некоторой степени известен в английских научных кругах, полная неизвестность среди континентальных астрономов автора этого памятного открытия любопытно иллюстрируется дискуссией в ведущем астрономическом журнале (Bode's*Astronomisches Jahrbuch* Боде) относительно того, как пишется его имя. *Хертшель*, пожалуй, лучшая, а *Мерстел* худшая из нескольких попыток.

254. Эта неизвестность была естественным образом рассеяна открытием Урана. Выдающиеся гости Бата, среди которых королевский астроном Маскелайн (глава X,§ 219), искали с ним знакомства; до конца года он был избран членом Королевского общества, в дополнение к получению одной из его медалей, а следующей весной его вызвали ко двору, чтобы он представил себя, свои телескопы и звезды Георгу III. и различным членам королевской семьи. В результате этого визита он получил от короля назначение на должность королевского астронома с зарплатой в 200 фунтов стерлингов в год.

УИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ.

[*Лицом к лицу, стр. 327.*

С этим назначением его карьера музыканта подошла к концу, и в августе 1782 года брат и сестра навсегда покинули Бат и поселились сначала в полуразрушенном доме в Датчете, затем, через несколько месяцев (1785-6), проведенных в Клей-холле в Старом Виндзоре, в Слау, в

доме, который сейчас известен как Observatory House и запомнился, по словам Араго, как “место в мире, где свершился факт, а также декуверты”.

255. Скромного жалованья Гершеля, хотя его и хватило бы на личные нужды его самого и его сестры, было, конечно, недостаточно для покрытия различных расходов, связанных с изготовлением и установкой телескопов. Однако мастерство, которое он теперь приобрел в этом искусстве, было таково, что его телескопы намного превосходили любые другие, имевшиеся в наличии, а поскольку его методы были его собственными, существовал значительный спрос на инструменты, изготовленные им самим. Еще находясь в Бате, он изготовил и продал несколько экземпляров, и в течение многих лет после переезда в окрестности Виндзора он получал значительный доход из этого источника, среди его клиентов были королевская семья и ряд выдающихся британских и иностранных астрономов.

Необходимость использовать свое драгоценное время таким образом, к счастью, отпала в 1788 году, когда он женился на даме со значительным состоянием; с тех пор Каролина жила в квартире рядом со своим братом, но работала на него с неослабевающим рвением.

К концу 1783 года Гершель закончил телескоп длиной 20 футов с большим зеркалом диаметром 18 дюймов, и с помощью этого инструмента была выполнена большая часть его лучших работ; но он еще не был удовлетворен тем, что достиг предела возможного. Во время последней зимы в Бате он и его брат потратили много труда в безуспешной попытке сконструировать 30-футовый телескоп; открытие Урана и его последствия на некоторое время помешали возобновлению попытки, но в 1785 году он начал строительство 40-футового телескопа с зеркалом диаметром четыре фута, расходы на которое были покрыты специальным грантом короля. Пока это делалось, Гершель опробовал новую конструкцию телескопов-отражателей, предложенную Лемэром в 1732 году, но никогда не использовавшуюся, с помощью которой был достигнут значительный прирост яркости, но ценой некоторой потери четкости. Эта**гершелевская** конструкция, или,КАК ее еще называют, конструкция **вида спереди**, впервые была опробована на 20 футах и привела к открытию (11 января 1787 г.) двух спутников Урана, *Оберона* и *Титании*; с тех пор она использовалась регулярно. После нескольких неудач был успешно сконструирован 40-футовый телескоп (рис. 82). В первый вечер его использования (28 августа 1789 г.) был обнаружен шестой спутник Сатурна (*Энцелад*), а 17 сентября - гораздо более слабый седьмой спутник (*Мимас*). Было обнаружено, что оба спутника находятся ближе к планете, чем любой из пяти обнаруженных до сих пор, причем Мимас является более близким из двух (см. рис. 91).

Хотя для обнаружения чрезвычайно слабых объектов, таких как эти спутники, большому телескопу не было равных, для многих видов работ и для всех, кроме самых ясных вечеров, инструмент меньшего размера был столь же хорош, а поскольку он был менее громоздким, его использовали гораздо чаще. Зеркало большого телескопа в некоторой степени пришло в негодность, и после 1811 года, когда рука Гершеля уже не справлялась с деликатной задачей по его повторной полировке, телескоп перестали использовать, хотя он простоял до 1839 года, когда его демонтировали и закрыли.

256. Со времени его основания в Слау и до тех пор, пока он не начал терять свои силы из-за старости, история жизни Гершеля - это немногое, кроме отчета о проделанной им работе. Это была его практика - проводить за наблюдениями всю подходящую ночь; его дневные часы были посвящены интерпретации его наблюдений и написанию статей, в которых он воплощал свои

результаты. Его сестра почти всегда присутствовала в качестве его ассистента, когда он наблюдал, а также выполняла для него большую часть каталогизации, индексирования и подобной работы. После отъезда из Бата она также проводила некоторые наблюдения самостоятельно, хотя только когда ее брат был в отъезде или по какой-то другойпричине не нуждался в ее услугах; она специализировалась на кометах и преуспела от начала до конца в открытии не менее восьми. Чтобы составить сколько-нибудь адекватное представление о дискомфорте и даже опасности, сопутствующих ночам, проведенным за наблюдениями, необходимо понимать, что используемые большие телескопы были установлены на открытом воздухе, что как для ньютоновской, так и для гершелевской форм отражателей наблюдатель должен находиться вблизи верхнего конца телескопа и, следовательно, на значительной высоте над землей. В 40-футовом, например, использовались лестницы длиной 50 футов, чтобы подняться на платформу, на которой находился наблюдатель. Более того, исходя из характера данного случая, удовлетворительные наблюдения не могли быть проведены при присутствии ни луны, ни искусственного освещения. Поэтому неудивительно, что в дневниках Кэролайн Гершель содержится немало выражений тревоги за благополучие ее брата в этих случаях, и, возможно, скорее удивительно, что произошло так мало серьезных несчастных случаев.

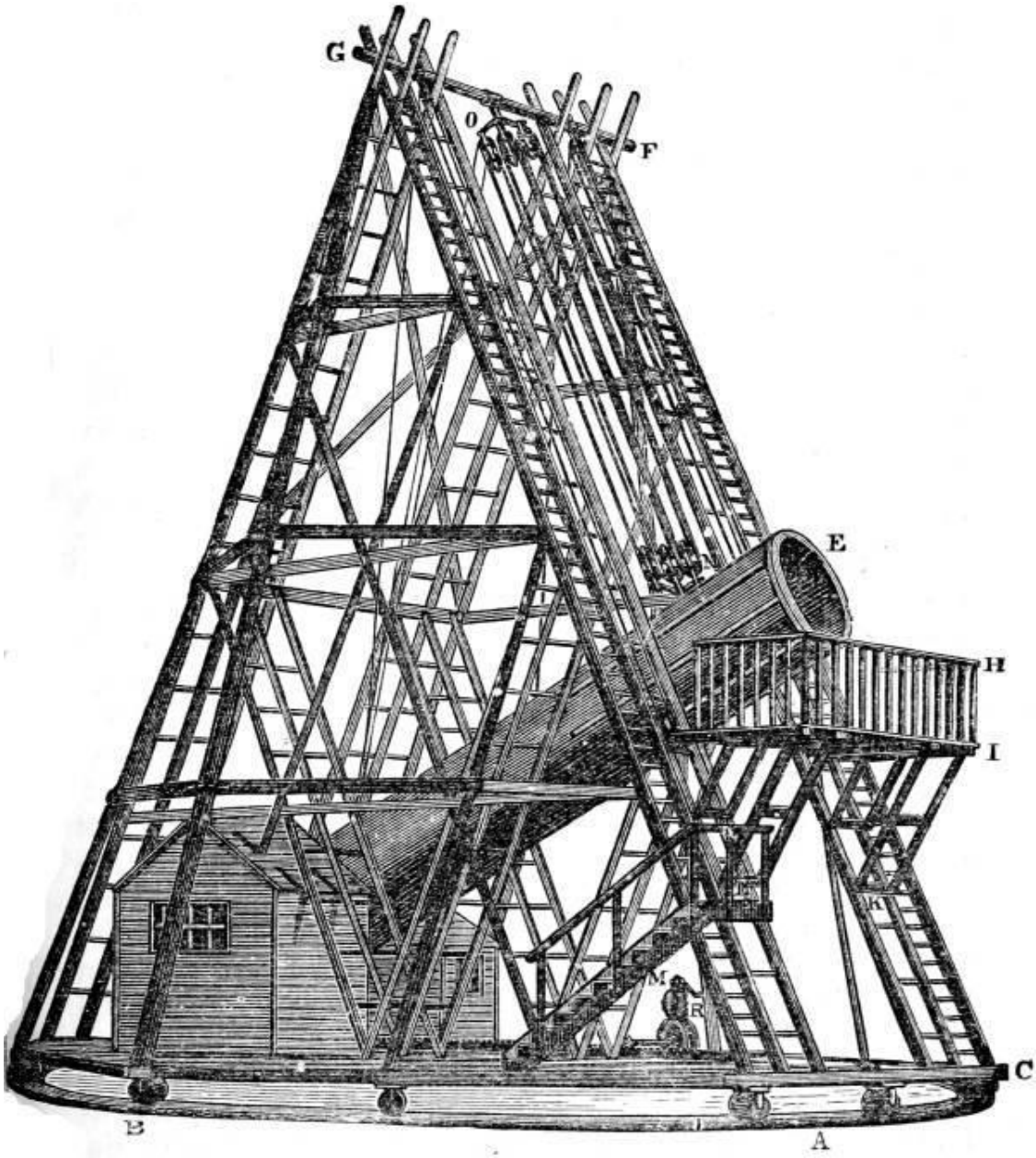


Рис. 82. Сорокафутовый телескоп Гершеля.

В дополнение к своей настоящей работе Гершелю приходилось принимать большое количество посетителей, которые приезжали в Слау из любопытства или подлинного научного интереса, чтобы увидеть великого человека и его замечательные телескопы. В 1801 году он отправился в Париж, где познакомился с Лапласом, а также встретился с Наполеоном, чьи астрономические познания он оценивал намного ниже, чем у Георга III., в то время как “его общий вид был чем-то вроде притворства, что он знает больше, чем на самом деле”.

Весной 1807 года он серьезно заболел; и с тех пор его здоровье оставалось слабым, и, как следствие, большую часть времени он посвящал работе в помещении. Последняя из большой серии работ, представленных Королевскому обществу, появилась в 1818 году, когда ему было почти 80 лет, хотя три года спустя он представил список двойных звезд недавно основанному

Королевскому астрономическому обществу. Его последнее наблюдение было сделано почти в то же время, и он умер более чем через год (21 августа 1822 года), когда ему было почти 84 года.

У него остался один сын, Джон, который стал астрономом лишь менее выдающимся, чем его отец (глава XIII, §§ 306-8). Кэролайн Гершель после смерти своего любимого брата вернулась в Ганновер, главным образом для того, чтобы быть рядом с другими членами своей семьи; здесь она выполнила одну важную работу, составив в удобной форме каталогизированные списки туманностей своего брата, и в течение оставшихся 26 лет своей долгой жизни ее главным интересом, по-видимому, была успешная астрономическая карьера ее племянника Джона.

257. Случайные ссылки на работы Гершеля, сделанные при описании его карьеры, показали его главным образом как конструктора гигантских телескопов, намного превосходящих по мощности все, что использовалось до сих пор, и как прилежного и внимательного наблюдателя всего, что можно было увидеть с их помощью в небе. Солнце и луна, планеты и неподвижные звезды - все это было рассмотрено, отмечены и описаны их особенности. Но эта чисто описательная работа была в глазах Гершеля по большей части средством достижения цели, поскольку, как он сказал в 1811 году, “знание устройства небес всегда было конечной целью моих наблюдений”.

Астрономия на протяжении многих веков почти полностью занималась положением различных небесных тел на небесной сфере, то есть их направлениями. Копперник и его преемники обнаружили, что видимые движения на небесной сфере членов солнечной системы могут быть удовлетворительно объяснены только с учетом их реальных движений в пространстве, так что солнечную систему стали эффективно рассматривать как состоящую из тел, находящихся на разных расстояниях от Земли и отстоящих друг от друга на столько-то миль. Но с неподвижными звездами дело обстояло совершенно иначе: ибо, за незначительным исключением собственных движений нескольких звезд (глава X., § 203), все их известные видимые движения можно было объяснить как результат движения земли; и относительные или действительные расстояния до звезд едва ли принимались во внимание. Хотя вера в реальную небесную сферу, к которой прикреплены звезды, едва ли пережила нападки Тихо Браге и Галилея, и любой известный астроном во второй половине 17-го или в 18-м веке, если бы его спросили, без колебаний заявил бы, что звезды находятся на разном расстоянии от земли, по сути, это было просто благочестивое мнение, которое не оказало заметного влияния на астрономическую работу.

Геометрической концепции звезд, представленных точками на небесной сфере, на самом деле было достаточно для обычных астрономических целей, и внимание великих астрономов-наблюдателей, таких как Флемстид, Брэдли и Лакайль, было почти полностью направлено на установление положения этих точек с предельной точностью или на наблюдение за движениями солнечной системы. Более того, группа проблем, предложенных в работе Ньютона, естественно, сосредоточила внимание астрономов восемнадцатого века на солнечной системе, хотя даже с этой точки зрения составление звездных каталогов имело значительную ценность как предоставление ориентиров, которые можно было использовать для определения положения элементов солнечной системы.

Почти единственным исключением из этой общей тенденции были попытки — до сих пор безуспешные — найти параллаксы и, следовательно, расстояния некоторых неподвижных

звезд, проблема, которая, хотя и была первоначально предложена в ходе полемики Копперника, была признана представляющей большой внутренний интерес.

Поэтому Гершель избрал совершенно новый путь, когда начал изучать звездную систему *как таковую* и взаимоотношения ее членов. С этой точки зрения солнце с сопутствующими ему планетами стало одной из бесчисленного множества звезд, которые получили фиктивное значение из-за того, что мы населили одну из частей их системы.

258. Полное знание положений звезд в пространстве, конечно, следовало бы из измерения параллакса (глава VI, § 129 и глава X,§ 207) каждой из них. Неспособности таких астрономов, как Брэдли, определить параллакс какой-либо одной звезды было достаточно, чтобы показать безнадежность этого общего предприятия, и, хотя Гершель действительно атаковал проблему параллакса (§ 263), он видел, что вопрос о распределении звезд в пространстве, если на него вообще можно ответить, требует какого-то более простого, хотя и менее надежного метода, способного применяться в больших масштабах.

Соответственно, он разработал (1784) свой метод **измерения звезд**. Самый поверхностный взгляд на небо показывает, что звезды, видимые невооруженным глазом, очень неравномерно распределены по небесной сфере; то же самое верно, если принять во внимание более слабые звезды, видимые в телескоп. Если сравнить две части неба с одинаковой видимой или угловой величиной, то может оказаться, что первая содержит во много раз больше звезд, чем вторая. Если мы осознаем, что звезды на самом деле расположены не на сфере, а рассеяны в пространстве на разных расстояниях от нас, мы можем объяснить это неравенство распределения на*небе* либо реальным неравенством распределения в *пространстве*, либо разницей в расстоянии, на которое простирается звездная система в направлениях, в которых лежат два набора звезд. Первая область на небе может соответствовать области пространства, в которой звезды действительно сгруппированы вместе, или может представлять направление, в котором звездная система простирается на большее расстояние, так что накопление слой за слоем звезд, расположенных друг за другом, создает видимую плотность распределения. Точно так же, если мы стоим в лесу и лес кажется менее густым в одном направлении, чем в другом, это может быть потому, что деревья на самом деле посажены там более тонко или потому, что в этом направлении опушка леса ближе.

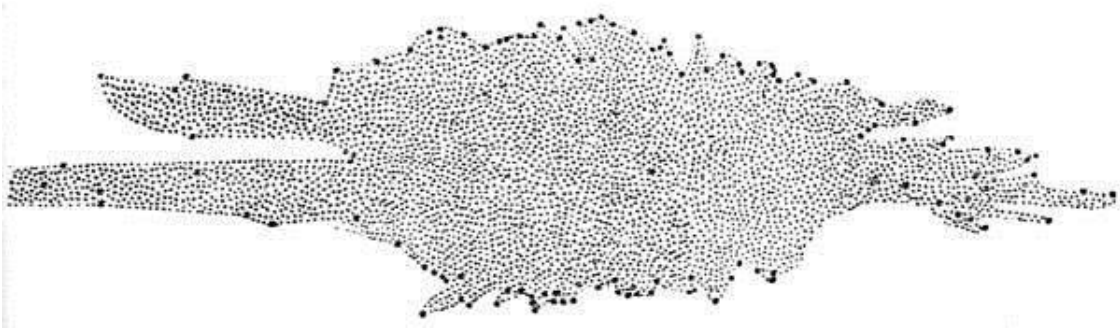


Рис. 83.— Разрез звездной системы. Из статьи Гершеля в "*Философских трудах*.

В отсутствие каких-либо *априорных* знаний о фактическом скоплении звезд в космосе Гершель выбрал первую из этих двух гипотез; то есть он рассматривал видимую плотность звезд на

любой конкретной части неба как меру глубины, на которую звездные системы простираются в этом направлении, и интерпретировал с этой точки зрения результаты обширной серии наблюдений. Он использовал 20-футовый телескоп, устроенный таким образом, что мог видеть с его помощью круглую часть неба диаметром 15 футов (четверть площади солнца или полной луны), поворачивал телескоп к разным частям неба и подсчитывал видимые в каждом случае звезды. Чтобы избежать случайных неровностей, он обычно брал среднее значение по нескольким соседним полям и опубликовал в 1785 году результаты измерений, сделанных таким образом в 683156 регионах, в то время как впоследствии он добавил 400 других, которые не счел нужным публиковать. В то время как в некоторых частях неба он мог видеть в среднем только одну звезду за раз, в других было видно около 600, и он подсчитал, что однажды около 116 000 звезд прошли через поле зрения его телескопа за четверть часа. Общим результатом было, как показывают грубые наблюдения невооруженным глазом, то, что звезд больше всего в Млечном Пути и вблизи него, и меньше всего в наиболее удаленных от него частях неба. Теперь Млечный Путь образует на небе нечеткую полосу, никогда не отклоняющуюся сильно от большого круга (иногда называемого **галактическим** кругом); так что, согласно гипотезе Гершеля, пространство, занимаемое звездами, имеет форму примерно диска или точильного камня, диаметр которого, согласно его расчетам, примерно в пять раз превышает толщину. Кроме того, Млечный Путь на протяжении части своей длины разделен на две ветви, причем пространство между двумя ветвями сравнительно свободно от звезд. Следовательно, в соответствии с этим подразделением следует предположить наличие расщелины в “точильном камне”.

Эта “точильная” теория вселенной была предложена в 1750 году *Томасом Райтом* (1711-1786) в его *Теории Вселенной*, и еще раз Кантом пять лет спустя; но ни один из них не пытался, подобно Гершелю, собрать числовые данные и последовательно и детально проработать следствия из фундаментальной гипотезы.

То, что предположение о равномерном распределении звезд в пространстве не может быть верным в деталях, было очевидно Гершелю с самого начала. Звездное скопление, например, в котором многие тысячи тусклых звезд собраны вместе на очень маленьком участке неба, следовало бы интерпретировать как представляющее собой длинный выступ или шип, полный звезд, простирающийся далеко за пределы прилегающих частей звездной системы и направленный прямо в сторону от положения, занимаемого солнечной системой. Точно так же определенные области неба, в которых нет звезд, следовало бы рассматривать как туннели, проходящие через звездную систему. То, что хотя бы один или два таких выступа или туннеля должны существовать, было бы достаточно маловероятно, но посколькузвездные скопления были известны в значительном количестве до того, как Гершель начал свою работу, и были обнаружены им сотнями, было невозможно объяснить их существование на основе этой гипотезы, и стало необходимым предположить, что звездное скопление занимало область пространства, в которой звезды действительно располагались ближе друг к другу, чем где-либо еще.

Более того, дальнейшее изучение расположения звезд, особенно в Млечном Пути, постепенно привело Гершеля к убеждению, что его первоначальное предположение было большим отклонением от истины, чем он предполагал вначале; и в 1811 году, почти через 30 лет после того, как он начал измерять звезды, он признал, что мнение определенно изменилось: -

“Я должен добровольно признать, что в продолжение моей метет небеса мое мнение о расположении звезд ... претерпела постепенное изменение.... Например, при определенных расчетах может быть допущено равное рассеяние звезд; но когда мы исследуем Млечный Путь или тесно сжатые скопления звезд, о которых в моих каталогах зафиксировано так много примеров, от этого предполагаемого равенства рассеяния приходится отказаться ”.

Метод измерения звездного неба предназначался в первую очередь для получения информации о границах звездной системы - или ее видимых частях. Наряду с этим методом Гершель постоянно использовал яркость звезды в качестве вероятного критерия близости. Если две звезды излучают фактически одинаковое количество света, то та, которая ближе к нам, будет казаться ярче; и если предположить, что свет не поглощается и не задерживается при его прохождении через пространство, видимая яркость двух звезд будет обратно пропорциональна*квадрату* их соответствующих расстояний. Следовательно, если мы получаем в девять раз больше света от одной звезды, чем от другой, и если предположить, что эта разница объясняется просто разницей расстояний, то первая звезда находится в три раза дальше второй, и так далее.

То, что звезды в целом излучают одинаковое количество света, так что разница в их видимой яркости обусловлена только расстоянием, является предположением того же общего характера, что и предположение о равном распределении. Обязательно должно быть много исключений, но, за неимением более точных знаний, это дает приблизительный метод оценки с некоторой степенью вероятности относительных расстояний звезд.

Чтобы применить этот метод, необходимо было иметь какие-то средства сравнения количества света, получаемого от разных звезд. Этого Гершель добился, используя телескопы разных размеров. Если одну и ту же звезду наблюдать с помощью двух телескопов-отражателей одинаковой конструкции, но разных размеров, то свет, передаваемый телескопом в глаз, пропорционален площади зеркала, которое собирает свет, и, следовательно, квадрату диаметра зеркала. Следовательно, видимая яркость звезды при наблюдении в телескоп пропорциональна, с одной стороны, обратному квадрату расстояния, а с другой - квадрату диаметра зеркала телескопа; следовательно, расстояние до звезды как бы точно уравновешивается диаметром зеркала телескопа. Например, если одна звезда, рассматриваемая в телескоп с восьмидюймовым зеркалом, и другая, рассматриваемая в большой телескоп с четырехфутовым зеркалом, кажутся одинаково яркими, то вторая звезда - исходя из фундаментального предположения - находится в шесть раз дальше.

Точно так же размер зеркала, необходимый для того, чтобы звезда была просто видна, использовался Гершелем как мера расстояния до звезды, и именно в этом смысле он постоянно ссылался на "проникающую способность” своего телескопа. Исходя из этого предположения, он оценил, что самые слабые звезды, видимые невооруженным глазом, примерно в двенадцать раз удаленнее, чем одна из самых ярких звезд, такая как Арктур, в то время как Арктур, если бы он был удален в 900 раз от своего нынешнего расстояния, был бы виден только в 20-футовый телескоп, которым он обычно пользовался, а 40-футовый проникал бы примерно в два раза дальше в космос.

Ближе к концу своей жизни (1817) Гершель предпринял попытку статистически сравнить два своих предположения о равномерном распределении в пространстве и о равномерной фактической яркости, подсчитав количество звезд каждой степени видимой яркости и сравнив их с цифрами, которые были бы получены в результате равномерного распределения в пространстве, если бы видимая яркость зависела только от расстояния. Исследование простиралось только до звезд, видимых невооруженным глазом, и до самых ярких из звезд, видимых в телескоп, и указывало на существование избытка более слабых звезд этих классов, так что либо эти звезды более плотно упакованы в пространстве, чем более яркие, либо они на самом деле меньше или менее яркие, чем другие; но никаких определенных выводов относительно расположения звезд сделано не было.

259. Со структурой звездной системы был тесно связан вопрос о распределении и природе**туманностей** (см. рис. 100, 102, стр. 397, 400) и **звездные скопления** (см. рис. 104, стр. 405). Когда Гершель начал свою работу, было известно более 100 таких тел, которые были открыты по большей части французскими наблюдателями Лакайлем (глава X, § 223) и *Шарлем Мессье* (1730-1817). Можно сказать, что Мессье по профессии был охотником за кометами; обнаружив, что он склонен принимать туманности за кометы, он зафиксировал (1781) положение 103 первых. Открытия Гершеля— сделанные гораздо более систематически и с использованием более мощных инструментальных средств, были гораздо более масштабными. В 1786 году он представил Королевскому обществу каталог из 1000 новых туманностей и скоплений, три года спустя - второй каталог того же объема, а в 1802 году - третий, включающий 500. За каждой туманностью было проведено тщательное наблюдение, был отмечен и описан ее общий вид, а также положение, и для получения общего представления о распределении туманностей на небе их положения были отмечены на звездной карте. Различия в яркости и кажущейся структуре привели к разделению на восемь классов; и на довольно ранней стадии своей работы (1786 г.) он дал графическое описание необычайных разновидностей формы, которые он отметил:

“Я видел двойные и тройные туманности, расположенные по-разному; большие с маленькими, кажущимися сопровождающими; узкие, но сильно вытянутые, прозрачные туманности или яркие штрихи; некоторые в форме веера, напоминающего электрическую щетку, исходящие из светлой точки; другие кометной формы, с кажущимся ядром в центре; или похожие на облачные звезды, окруженные туманной атмосферой; другой вид снова содержит туманность молочного цвета, подобную тому чудесному необъяснимому феномену около θ Ориона; в то время как другие сияют ярким светом. более слабый пятнистый свет, который указывает на то, что их можно разделить на звезды ”.

260. Но гораздо более интересной проблемой классификации была проблема связи между туманностями и звездными скоплениями. Плеяды, например, кажутся обычному глазу группой из шести звезд, расположенных близко друг к другу, но многие близорукие люди видят там только часть неба, которая немного ярче прилегающей области; опять же, туманное пятно света, каким оно кажетсяобычному глазу, известное как *Praesepe* (в виде Краба), в самый маленький телескоп превращается в скопление тусклых звезд. Точно так же существуют и другие объекты, которые в небольшой телескоп кажутся облачными или туманными, но при наблюдении в инструмент большей мощности оказываются звездными скоплениями. В частности, Гершель обнаружил, что многие объекты, которые для Мессье были чисто

туманными, в его собственные большие телескопы казались несомненными скоплениями, хотя другие все еще оставались туманными. Таким образом, по его собственным словам:—

“Туманности могут быть выбраны таким образом, чтобы происходила незаметная градация от крупного скопления, подобного Плеядам, до молочной туманности, подобной созвездию Ориона, причем представлены все промежуточные ступени”.

Эти факты, очевидно, наводили на мысль, что разница между туманностями и звездными скоплениями была просто вопросом мощности используемого телескопа, и соответственно следующее предложение Гершеля звучит так:—

“Это, как правило, подтверждает гипотезу о том, что все они состоят из более или менее удаленных звезд”.

Идея не была новой, во всяком случае, она была предложена, скорее умозрительно, чем научно, в 1755 году Кантом, который далее предположил, что отдельная туманность или звездное скопление представляет собой совокупность звезд, сравнимых по величине и структуре со всеми теми, что составляют Млечный Путь и другие отдельные звезды, которые мы видим. С этой точки зрения солнце - это одна звезда в скоплении, и каждая туманность, которую мы видим, представляет собой систему того же порядка. Теория туманностей об “островной вселенной”, как ее называли, также была поначалу принята Гершелем, так что однажды он смог рассказать мисс Берни, что открыл 1500 новых вселенных.

Гершель, однако, был одним из тех исследователей, которые легкомысленно относятся к теориям, и уже в 1791 году дальнейшие наблюдения убедили его, что эти взгляды несостоятельны и что, по крайней мере, некоторые туманности существенно отличаются от звездных скоплений. Конкретным объектом, который он приводит в подтверждение своей точки зрения, была некая туманная звезда, то есть тело, напоминающее обычную звезду, но окруженное круглым ореолом, яркость которого постепенно уменьшается.

“Обратите свой взор, - говорит он, “ на эту облачную звезду, и результат будет не менее решающим.... Осмелюсь сказать, ваше суждение будет заключаться в том, что*туманность вокруг звезды не имеет звездной природы*.

Если бы туманность была обусловлена совокупностью звезд, расположенных так далеко, что они по отдельности неразличимы, то центральное тело должно было бы быть звездой почти несравненно больших размеров, чем обычная звезда; если, с другой стороны, центральное тело имело размеры, сравнимые с размерами обычной звезды, то туманность должна быть обусловлена чем-то иным, а не звездным скоплением. В любом случае объект демонстрировал особенности, заметно отличающиеся от характеристик звездного скопления известного типа; и из двух альтернативных объяснений Гершель выбрал последнее, считая туманность “сияющей жидкостью, природа которой нам совершенно неизвестна”. Таким образом, было допущено одно исключение из его более ранних взглядов, другие, естественно, последовали аналогии, и с этого момента он признал туманности класса “сияющая жидкость” существенно отличными от звездных скоплений, хотя во многих случаях было невозможно сказать, к какому классу принадлежит конкретное тело.

Данные, собранные Гершелем относительно распределения туманностей, также показали, что, какой бы ни была их природа, они не могли быть независимыми от общей звездной системы, как в теории "островной вселенной”. Во-первых, наблюдения вскоре показали ему, что отдельная туманность или скопление обычно окружены областью неба, сравнительно свободной от звезд; это было настолько распространенным явлением, что у него вошло в привычку во время поиска туманностей, после того как такая голая область прошла через поле зрения его телескопа, предупреждать сестру, чтобы она была готова записывать наблюдения за туманностями. Более того, по мере того, как положение большого числа туманностей стало известно и нанесено на карты, стало видно, что, в то время как скопления были обычным явлением вблизи Млечного Пути, туманностей, которые казались неспособными разделяться на скопления, там было мало, и, напротив, они демонстрировали явную тенденцию к скоплению в областях неба, наиболее удаленных от Млечного Пути, то есть вокруг полюсов галактического круга (§ 258). Если бы туманности были внешними системами, то, конечно, не было бы причин, по которым их распределение на небе должно было бы демонстрировать какую-либо связь либо с редкостью звезд в целом, либо с положением Млечного Пути.

Однако весьма примечательно, что Гершель в этом отношении не в полной мере оценил последствия своих собственных наблюдений и до конца своей жизни, по-видимому, считал, что некоторые туманности и скопления были внешними “вселенными”, хотя многие из них были частью нашей собственной системы.

261. Еще в 1789 году Гершель выдвинул идею о том, что различные виды туманностей и скоплений являются объектами одного и того же типа на разных стадиях развития, при этом действует некая “сила кластеризации”, превращающая рассеянную туманность в более яркое и более конденсированное тело; так что конденсацию можно рассматривать как признак “возраста". И он продолжает: —

“Этот метод наблюдения за небесами, кажется, проливает на них новый свет. Теперь они кажутся похожими на пышный сад, в котором содержится величайшее разнообразие продуктов на разных цветущих грядках; и одно преимущество, которое мы можем, по крайней мере, извлечь из этого, состоит в том, что мы можем, так сказать, расширить диапазон нашего опыта на огромную продолжительность. Ибо, продолжая сравнение, которое я позаимствовал из растительного царства, разве это не почти одно и то же, живем ли мы последовательно, чтобы наблюдать за прорастанием, цветением, листвой, плодовитостью, увяданием и разложением растения, или же нашему взору сразу же предстает огромное количество образцов, отобранных на каждой стадии, через которую проходит растение в ходе своего существования?”

Изменение его мнения в 1791 году относительно природы туманностей привело к соответствующему изменению его взглядов на этот процесс конденсации. Об уже упомянутой звезде (§ 260) он заметил, что ее туманная оболочка “больше подходит для образования звезды путем ее уплотнения, чем для того, чтобы зависеть от звезды в ее существовании”. В 1811 и 1814 годах он опубликовал полную теорию возможного процесса, посредством которого сияющая жидкость, составляющая рассеянную туманность, может постепенно конденсироваться — более плотные ее части являются центрами притяжения — сначала в более плотную туманность или сжатое звездное скопление, затем в одну или несколько туманных звезд, наконец, в отдельную звезду или группу звезд. Каждая предполагаемая стадия этого процесса была

обильно проиллюстрирована записями реальных туманностей и скоплений, которые он наблюдал.

В последней статье он также впервые признал, что скопления в Млечном Пути и вблизи него действительно принадлежат ему, а не являются независимыми системами, которые случайно лежат в том же направлении, что и видимые нами.

262. По другому смежному вопросу Гершель также изменил свое мнение к концу своей жизни. Когда он впервые использовал свой большой 20-футовый телескоп для исследования Млечного Пути, он думал, что ему удалось полностью разложить его слабый облачный свет на составляющие звезды и, таким образом, проникнуть до конца Млечного Пути; но впоследствии он убедился, что это не так, но что остались облачные участки, которые — то ли из—за их удаленности, то ли по другим причинам - его телескопы не смогли разложить на звезды (см. рис. 104, перед стр. 405).

Таким образом, в обоих этих отношениях структура Млечного Пути в конечном итоге показалась ему менее простой, чем вначале.

263. Одно из наиболее заметных открытий Гершеля было побочным продуктом исследования совершенно иного характера. Точно так же, как Брэдли, пытаясь найти параллакс звезды, обнаружил аберрацию и нутацию (глава X, § 207), так и та же проблема в руках Гершеля привела к открытию двойных звезд. Он предложил использовать дифференциальный метод Галилея, или метод двойной звезды (глава VI., § 129), в котором незначительное изменение положения звезды из-за движения земли вокруг Солнца должно быть обнаружено не путем измерения ее углового расстояния от стандартных точек небесной сферы, таких как полюс или зенит, а путем наблюдения изменений ее расстояния от какой-либо близкой к ней звезды, которая из-за своей тусклости или по какой-либо другой причине может находиться гораздо дальше и, следовательно, меньше подвержена влиянию движения Земли.

Имея в виду эту цель, Гершель приступил к поиску пар звезд, достаточно близких друг к другу, чтобы они подходили для его цели, и, со своим обычным рвением увидеть и записать все, что можно было увидеть, собрал обширную жатву таких объектов. Предельное расстояние между двумя членами пары, за пределы которого, по его мнению, не стоило выходить, составляло 2 фута - интервал, незаметный невооруженным глазом, за исключением случаев совершенно ненормально острого зрения. Другими словами, две звезды — даже если они достаточно яркие, чтобы быть видимыми, — обычному глазу всегда будут казаться*одной*. Первый каталог таких пар, каждая из которых образует то, что можно назвать **двойной звездой**, был опубликован в начале 1782 года и содержал 269, из которых 227 были новыми открытиями; второй каталог из 434 был представлен Королевскому обществу в конце 1784 года; а его последняя статья, отправленная Королевскому астрономическому обществу в 1821 году и опубликованная в первом томе его воспоминаний, содержала список еще из 145. В дополнение к положению каждой двойной звезды было отмечено угловое расстояние между двумя элементами, направление линии, соединяющей их, и яркость каждой из них. В некоторых случаях также наблюдались любопытные контрасты в цвете двух компонентов. Было также немало случаев, когда не просто две, а три, четыре или более звезд были обнаружены достаточно близко друг к другу, чтобы считаться образующими кратную звезду.

Гершель начал с идеи, что двойная звезда возникла в результате простого совпадения направлений двух звезд, которые не имели никакой связи друг с другом и одна из которых могла быть во много раз дальше другой. Однако еще в 1767 году Мичелл указал (глава X.,§ 219), что даже немногие известные в то время двойные звезды давали примеры совпадений, которые были очень маловероятны в результате простого случайного распределения звезд. Можно привести особый случай, чтобы сделать аргумент более ясным, хотяфактические рассуждения Мичелла не были облечены в числовую форму. В течение некоторого времени было известно, что яркая звезда Кастор (в Близнецах) состоит из двух звезд, α и β, расположенных на расстоянии менее 5 дюймов друг от друга. Всего насчитывается около 50 звезд того же порядка яркости, что и α, и 400 подобных β. Ни один из наборов звезд не демонстрирует какой-либо особой тенденции к распределению каким-либо особым образом по небесной сфере. Таким образом, возникает вопрос о вероятностях: если есть 50 звезд одного вида и 400 другого, распределенных случайным образом по всей небесной сфере, причем два распределения не имеют никакой связи друг с другом, какова вероятность того, что одна из первого набора звезд окажется в пределах 5 дюймов от одной из второго набора? Вероятность примерно такая же, как если бы 50 зерен пшеницы и 400 зерен ячменя были случайным образом разбросаны по полю площадью 100 акров, одно зернышко пшеницы должно быть найдено на расстоянии полудюйма от зерна ячменя. Шансы против такой возможности, очевидно, очень велики и могут составлять более 300 000 к одному. Таковы шансы против существования — без какой—либо реальной связи между элементами -*одиночной* двойной звезды, подобной Кастору; но когда Гершель начал открывать сотни двойных звезд, невероятность чрезвычайно возросла. В своей первой статье Гершель высказал свое мнение о том, что “еще слишком рано формировать какие-либо теории о том, что маленькие звезды вращаются вокруг больших”, замечание, свидетельствующее о том, что идея рассматривалась; и в 1784 году Мичелл вернулся к этой теме и выразил мнение, что шансы в пользу физической связи между элементами недавно открытых двойных звезд Гершеля “не поддаются арифметике”.

264. Через двадцать лет после публикации своего первого каталога Гершель придерживался мнения Мичелла, но теперь смог подкрепить его доказательствами совершенно нового и гораздо более прямого характера. Серия наблюдений Кастора, представленных в двух статьях, опубликованных в "*Philosophical Transactions"* в 1803 и 1804 годах, которые, к счастью, были дополнены наблюдением Брэдли в 1759 году, показала постепенное изменение направления линии, соединяющей две ее составляющие, такого характера, что не оставляло сомнений в том, что две звезды вращались друг вокруг друга; и было еще пять случаев, в которых наблюдалось подобное движение. Таким образом, в этих шести случаях было показано, что двойная звезда действительно была образована связанной парой звезд, расположенных достаточно близко, чтобы влиять на движение друг друга. Двойная звезда такого типа называется **двойной звездой** или **физической двойной звездой**, в отличие от просто оптической двойной звезды, два элемента которой не имеют связи друг с другом. В трех случаях, включая Castor, наблюдений было достаточно, чтобы хотя бы приблизительно оценить период полного обращения одной звезды вокруг другой, который, как предполагается, происходит с одинаковой скоростью. Результаты, полученные Гершелем, составили 342 года для Castor,157 375 и 1200 лет для двух других. Напрашивался очевидный вывод, что вращательное движение, наблюдаемое в двойной звезде, обусловлено взаимным притяжением ее элементов, хотя данных Гершеля было недостаточно, чтобы с какой-либо точностью определить закон этого движения, и только через пять лет после его смерти была предпринята первая попытка показать, что орбита двойной

звезды такова, что вытекает из взаимного притяжения ее элементов или, по крайней мере, согласуется с ним (глава XIII, § 309: ср. также рис. 101). Это можно рассматривать как первое прямое доказательство распространения закона всемирного тяготения на регионы за пределами Солнечной системы.

Хотя, таким образом, было определенно показано, что лишь несколько двойных звезд являются двойными, не было причин, по которым многие другие не могли бы быть такими же, поскольку их движение не было достаточно быстрым, чтобы его можно было отчетливо заметить в течение примерно четверти века, на протяжении которого продолжались наблюдения Гершеля; и эта вероятность полностью сводила на нет полезность двойных звезд для той конкретной цели, для которой Гершель первоначально искал их. Ибо, если двойная звезда двойная, то два элемента находятся примерно на одинаковом расстоянии от земли и, следовательно, на них в равной степени влияет движение земли, тогда как для определения параллакса важно, чтобы один из них был намного удален от другого. Но сделанное им открытие показалось ему гораздо более интересным, чем то, которое он пытался, но потерпел неудачу; выражаясь его собственным живописным языком, он, подобно Савлу, отправился на поиски ослов своего отца и обрел царство.

265. Со времен Галлея было известно (глава X, § 203), что определенные звезды имеют собственное движение на небесной сфере относительно общего звездного тела. Постепенно укреплявшееся среди астрономов убеждение в том, что солнце - всего лишь одна из неподвижных звезд, наводило на мысль о возможности того, что солнце, как и другие звезды, может иметь движение в пространстве. Томас Райт, Ламберт и другие размышляли на эту тему, а Тобиас Майер (глава X, §§ 225-6) показал, как искать такое ходатайство.

Если кажется, что движется одиночная звезда, то согласно принципу относительного движения (глава IV, § 77) это может быть одинаково хорошо объяснено движением звезды, или движением наблюдателя, или комбинацией того и другого; и поскольку в этой задаче внутренними движениями солнечной системы можно пренебречь, это движение наблюдателя можно отождествить с движением солнца. Когда наблюдаются собственные движения нескольких звезд, движение только солнца в общем случае недостаточно для их объяснения, но они могут рассматриваться как обусловленные либо исключительно движениями звезд в пространстве, либо их сочетанием с каким-либо движением солнца. Если теперь звезды рассматривать как неподвижные, а солнце движется к определенной точке на небесной сфере, то в силу очевидного эффекта перспективы звезды вблизи этой точки будут казаться удаляющимися от нее и друг от друга на небесной сфере, в то время как звезды в противоположной области будут приближаться друг к другу, причем величина этих изменений зависит от скорости движения солнца и близости рассматриваемых звезд. Эффект в точности того же характера, что и тот, который возникает, когда при взгляде вдоль улицы ночью два фонаря на противоположных сторонах улицы на некотором расстоянии от нас кажутся близко расположенными друг к другу, но по мере того, как мы идем по улице к ним, они кажутся все более и более отделенными друг от друга. Например, на рисунке L и L', видимые со стороны B, кажутся более удаленными друг от друга, чем со стороны A.

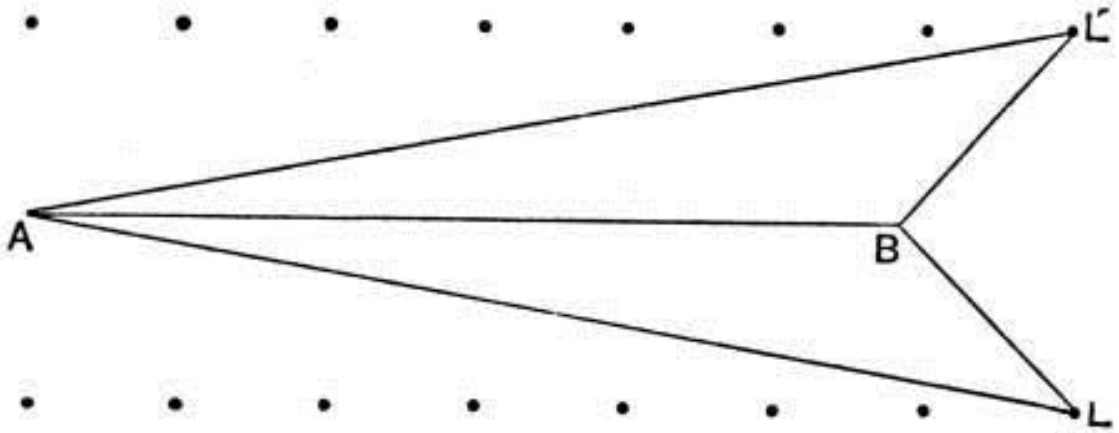


Рис. 84.— Иллюстрирующий эффект движения Солнца в пространстве.

Если наблюдаемые собственные движения исследуемых звезд не имеют такого характера, их нельзя объяснить как обусловленные*просто* движением солнца; но если они демонстрируют некоторую тенденцию двигаться таким образом, то наблюдения можно проще всего объяснить, рассматривая солнце как находящееся в движении и предполагая, что расхождения между эффектами, возникающими в результате предполагаемого движения Солнца, и наблюдаемыми собственными движениями обусловлены движениями в пространстве нескольких звезд.

Из нескольких собственных движений, которыми Майер располагал, он, однако, не смог вывести никаких указаний на движение солнца.

Гершель использовал собственные движения, опубликованные Маскелином и Лаландом, 14 звезд (13, если считать двойную звезду Кастор только одной) и с необычайной проницательностью обнаружил в них определенную однородность движения, подобную уже описанному, например, в результате движения солнца. Точка на небесной сфере, к которой, как предполагалось, движется солнце,**вершина**, как он ее называл, была принята за точку, отмеченную звездой λ в созвездииГеркулеса. Он обнаружил, что движение солнца в этом направлении вызвало бы в 14 звездах видимые движения, которые в большинстве случаев в целом соответствовали наблюдаемым.158 Этот результат был опубликован в 1783 году, а несколько месяцев спустя *Пьер Прево* (1751-1839) вывел очень похожий результат из сборника правильных движений Тобиаса Майера. Более 20 лет спустя (1805) Гершель снова взялся за этот вопрос, используя шесть самых ярких звезд в сборнике собственных движений из 36, опубликованном Маскелайном в 1790 году, которые были намного более надежными, чем любые предыдущие, и используя более сложные процессы расчета; снова вершина была расположена в созвездии Геркулеса, хотя и на расстоянии почти 30 ° от положения, указанного в 1783 году. Результаты Гершеля, по общему признанию, были в значительной степени умозрительными и были восприняты современными астрономами с большой долей недоверия; но ряд гораздо более сложных современных исследований того же предмета подтвердили общую правильность его работы, однако более ранняя из двух его оценок оказалась более точной. Он также предпринял несколько попыток в тех же статьях и в третьей (опубликованной в 1806 году) оценить скорость, а также направление движения солнца; но работа обязательно включала в себя так много предположений относительно вероятных расстояний до звезд, которые были совершенно неизвестны, что не стоит приводить результаты, более определенные, чем утверждение, сделанное в статье 1783 года, о том, что “Мы можем в общих

чертах оценить, что движение солнца, безусловно, не может быть меньше того, которое имеет Земля на своей годовой орбите”.

266. Вопрос о сравнительной яркости звезд был, как мы видели (§ 258), важен в связи с попытками Гершеля оценить их относительные расстояния от земли и их расположение в пространстве; он также возник в связи с исследованиями изменчивости света звезд. В течение некоторого времени были известны два замечательных случая изменчивости. Было обнаружено, что звезда в созвездии Кита (*Кита* или *Мира*) временами невидима невооруженным глазом, а в другое время бросается в глаза; голландский астроном *Фоцилидес Холварда* (1618-1651) впервые четко распознал ее переменный характер (1639), а *Исмаэль Булло* или *Буллиальдус* (1605-1694) в 1667 году установил ее период примерно в одиннадцать месяцев, хотя было обнаружено, что ее колебания были нерегулярными. как по сумме, так и по сроку. Его вариации легли в основу первой статьи, опубликованной Гершелем в "*Философских трудах*" (1780). Не менее примечательной переменной звездой является та, что известна как *Алгол* (или β *Персея*), колебания которой, как было обнаружено, происходят с почти абсолютной регулярностью. Его изменчивость была отмечена*Джеминиано Монтанари* (1632-1687) в 1669 году, но регулярность его изменений была впервые обнаружена в 1783 году *Джоном Гудриком* (1764-1786), который вскоре смог установить его период почти в 2 дня 20 часов 49 минут. Алгол, когда он самый слабый, дает примерно на четверть больше света, чем когда он самый яркий, переход от первого состояния ко второму осуществляется примерно за десять часов; в то время как Мира изменяет свой свет в несколько сотен раз, но совершает изменения гораздо медленнее.

В начале карьеры Гершеля эти и три или четыре другие менее интересные звезды были единственными, определенно признанными переменными, хотя вскоре к ним добавилось еще несколько. Существовало также несколько записей о так называемых “новых” звездах, которые внезапно были замечены в местах, где ранее не наблюдалось ни одной звезды, и которые по большей части быстро снова становились незаметными (ср. главу II, § 42; главу V., § 100; главу VII,§ 138); такие звезды, очевидно, можно рассматривать как переменные звезды, периоды наибольшей яркости которых происходят довольно нерегулярно или с большими интервалами. Более того, различные записи яркости звезд, сделанные более ранними астрономами, не оставляли сомнений в том, что яркость многих из них должна была заметно варьироваться. Например, маленькая звезда в созвездии Большой Медведицы (близко к средней звезде “хвоста”) была у арабов известным испытанием острого зрения, но ее прекрасно видно даже в нашем более тусклом климате людям с обычным зрением; а Кастор, который показался Байеру более ярким из двух Близнецов, когда он опубликовал свой Атлас (1603), был в 18 веке (как и сейчас) менее ярким, чем Поллукс.

Гершель провел множество точных измерений количества света, излучаемого звездами различной величины, но не смог провести никаких обширных или систематических измерений в этом плане. С целью будущего обнаружения таких изменений яркости, о которых только что упоминалось, он разработал и осуществил в больших масштабах чрезвычайно простой метод **последовательностей**. Если наблюдается группа звезд и отмечен порядок их яркости в два разных момента времени, то любое изменение в порядке будет свидетельствовать о том, что изменилась яркость одной или нескольких. Таким образом, если некоторое количество звезд наблюдается в наборах таким образом, что каждая звезда регистрируется как менее яркая, чем определенные звезды рядом с ней, и более яркая, чем определенные другие звезды, то тем

самым предоставляются материалы для обнаружения в любое время в будущем любого заметного изменения яркости. В соответствии с этим планом Гершель подготовил в разное время, между 1796 и 1799 годами, четыре каталога сравнительной яркости, основанные на наблюдениях невооруженным глазом и включающие в общей сложности около 3000 звезд. В ходе работы было замечено немало случаев незначительной изменчивости; но самым интересным открытием такого рода была изменчивость хорошо известной звезды α*Геркулес*, о которой было объявлено в 1796 году. Период оценивался в 60 дней, и, таким образом, звезда, по-видимому, образовывала связующее звено между известными переменными, которые, как Алгол, имели периоды в очень мало дней, и теми (из которых Мира была наиболее известна) с периодами в несколько сотен дней. Как обычно, Гершель не удовлетворился простой записью наблюдений, а попытался объяснить наблюдаемые факты предположением, что переменная звезда имеет вращение и что ее поверхность имеет неодинаковую яркость.

267. Новизна работы Гершеля о неподвижных звездах и очень общий характер полученных результатов привели к тому, что эта часть его исследований в некоторых отношениях затмила другие его вклады в астрономию.

Хотя в его планы не входило вносить свой вклад в то точное знание движений тел солнечной системы, которое вобрало в себя лучшие силы большинства астрономов 18 века — будь то наблюдатели или математики, — он был внимательным и успешным наблюдателем самих тел.

Его открытия Урана, двух его спутников и двух новых спутников Сатурна уже упоминались в связи с его жизнью (§§ 253, 255). Он полагал, что сам видел также (1798) четыре других спутника Урана, но их существование так и не было удовлетворительно подтверждено; и вторая пара спутников, о принадлежности которых теперь известно, что они принадлежат Урану, которые были открыты Ласселем в 1847 году (глава XIII, § 295), не согласуются по положению и движению ни с одним из четырех спутников Гершеля. Поэтому весьма вероятно, что это были просто оптические иллюзии из-за дефектов его зеркала, хотя не исключено, что он мог мельком увидеть один или другой спутник Ласселя и неверно истолковать наблюдения.

Сатурн был любимым объектом изучения Гершеля с самого начала его астрономической карьеры, и между 1790 и 1806 годами им было опубликовано семь статей на эту тему. Он заметил и измерил отклонение формы планеты от сферы (1790); он наблюдал различные отметины на поверхности самой планеты и, кажется, видел внутреннее кольцо, известное теперь по своему внешнему виду как креповое кольцо (глава XIII.,§ 295), хотя и не распознал его природу. Наблюдая за некоторыми отметками на некотором расстоянии от экватора, он обнаружил (1790), что Сатурн вращается вокруг оси, и установил период вращения примерно в 10 ч. 16 м. (период, отличающийся всего примерно на 2 минуты от современных оценок), и по аналогичным наблюдениям за кольцом (1790) пришел к выводу, что оно вращается примерно за 10-1/ 2 часа, причем ось вращения в каждом случае перпендикулярна плоскости кольца. Спутник Япет, открытый Кассини в 1671 году (глава VIII,§ 160), долгое время считался переменным по яркости, поскольку излучаемого света в одно время было в несколько раз больше, чем в другое. Гершель обнаружил, что эти вариации были не только совершенно регулярными, но и повторялись с интервалом, равным периоду обращения спутника вокруг своей звезды (1792 г.). Вывод, о котором думал Кассини, но отверг как несовместимый с его наблюдениями. Эту особенность, очевидно, можно было объяснить, предположив, что разные части Япета обладали неодинаковой способностью отражать свет и что, подобно нашей Луне,

она поворачивалась вокруг своей оси один раз за каждый оборот таким образом, что всегда была обращена одной и той же стороной к своему светилу и, следовательно, каждой стороной по очереди к наблюдателю на земле. Естественно было предположить, что такое расположение было общим для спутников, и Гершель получил (1797) некоторые свидетельства изменчивости спутников Юпитера, которые, как ему показалось, подтверждали эту гипотезу.

Наблюдения Гершеля за другими планетами были менее многочисленными и важными. Он справедливо отверг предполагаемые наблюдения Шретера (§ 271) огромных гор на Венере и смог обнаружить лишь некоторые нечеткие отметины, из которых можно было сделать несколько сомнительный вывод о вращении планеты вокруг оси. Он часто наблюдал знакомые яркие полосы на Юпитере, обычно называемые поясами, которые он первым интерпретировал (1793) как полосы облаков. На Марсе он заметил периодическое уменьшение белых шапок на двух полюсах и заметил, что в этих и других отношениях Марс из всех планет больше всего похож на землю.

268. Гершель также провел ряд тщательных наблюдений за солнцем и на их основе разработал знаменитую теорию его строения. Он подтвердил существование различных особенностей поверхности Солнца, которые были отмечены более ранними телескопистами, такими как Галилей, Шайнер и Хевель, и дополнил их некоторыми деталями. Со времен Галилея различными наблюдателями было выдвинуто немало предположений относительно природы пятен, например, что это облака, горные вершины, продукты вулканического происхождения и т.д., Но ни одно из них не было подкреплено какими-либо серьезными доказательствами. Наблюдения Гершеля за появлением пятен подсказали ему, чтоэто были углубления на поверхности солнца, точка зрения, которая подтверждалась случайными наблюдениями пятна при прохождении над краем солнца в виде отчетливого углубления или выемки там. На этой несколько шаткой фактической основе он построил (1795) сложную теорию природы солнца, которая привлекла всеобщее внимание своей изобретательностью и живописностью и более чем на полвека снискала всеобщее одобрение в астрономическом мире. Предполагалось, что внутренняя часть солнца представляет собой холодное темное твердое тело, окруженное двумя слоями облаков, из которых внешний был**фотосферой** или обычной поверхностью солнца, сильно горячей и светящейся, а внутренний служил противопожарным экраном для защиты внутренней части. Тень (глава VI., § 124) пятна представляла собой темную внутреннюю часть, видимую через отверстие в облаках, а полутень соответствовала внутреннему слою облаков, освещенному светом сверху.

“Солнце, рассматриваемое в этом свете, кажется не чем иным, как очень выдающейся, большой и светлой планетой, очевидно, первой или, строго говоря, единственной первичной планетой нашей системы; ... скорее всего, она также населена, как и остальные планеты, существами, чьи органы приспособлены к особым условиям этого огромного земного шара”.

Предположение о том, что пятна представляют собой впадины, было высказано более чем за двадцать лет до этого (1774)*Александром Уилсоном* из Глазго (1714-1786) и подкреплено доказательствами, отличными от тех, что приводил Гершель, и в некотором смысле более убедительными. Уилсон заметил, сначала в случае с большим пятном, замеченным в 1769 году, а затем и в других случаях, что по мере того, как вращение солнца переносит пятно по диску от одного края к другому, его внешний вид меняется точно так же, как это происходило бы в

соответствии с обычными законами перспективы, если бы пятно было углублением в форме блюдца, дно которого образует тень, а наклонные стороны - полутень, поскольку полутень кажется самой узкой на стороне, ближайшей к центру солнца, и самой широкой на стороне, ближайшей к краю. Следовательно, Уилсон, как и Гершель, но с меньшей уверенностью, сделал вывод, что тело солнца темное. В статье, на которую ссылается Гершель, нет никаких признаков знакомства с работой Уилсона, но во второй статье (1801 г.), которая также содержала ценную серию наблюдений подробных отметин на поверхности Солнца, он ссылается на “геометрическое доказательство” Уилсона углубления тени пятна.

Хотя сейчас легко увидеть, что теория Гершеля была опрометчивым обобщением на основе незначительных данных, тем не менее она объясняла — и довольно успешно — большинство наблюдений, сделанных к тому времени.

Современные знания о теплоте, которые были недоступны Гершелю, показывают нам фундаментальную невозможность дальнейшего существования тела с холодной внутренней частью и всего лишь неглубоким кольцом горячего и светящегося материала вокруг него; и поэтому теория в этой форме представляет чисто исторический интерес (ср. также главу XIII, §§ 298, 303).

269. Другой наводящей на размышления идеей Гершеля была аналогия между солнцем и переменной звездой, известные различия в количестве пятен и, возможно, других отметин на солнце наводили его на мысль о вероятности определенной изменчивости общего количества излучаемого солнечного света и тепла. Земное влияние этого явления он попытался измерить — в отсутствие точных метеорологических данных — со свойственной ему изобретательностью с помощью цен на пшеницу, и были приведены некоторые доказательства, показывающие, что во времена, когда наблюдалось небольшое количество солнечных пятен, что соответствовало, по мнению Гершеля, периодам снижения солнечной активности, пшеница была дорогой, а погода, по-видимому, более холодной. Однако на самом деле полученных данных было недостаточно для того, чтобы сделать какие-либо определенные выводы.

270. В дополнение к уже описанным астрономическим исследованиям и нескольким другим, менее важным, Гершель потратил некоторое время, главным образом ближе к концу своей жизни, на изучение света и тепла; но полученные результаты, хотя и имеют значительную ценность, относятся скорее к физике, чем к астрономии, и их здесь рассматривать не нужно.

271. Естественно связать серию замечательных открытий Гершеля с его обладанием телескопами необычной мощности и с формулировкой им новой программы астрономических исследований; и это, несомненно, были важные элементы. Однако важно, чтобы показать, насколько важными были другие соображения, что, хотя большое количество его телескопов было передано другим астрономам, и хотя его астрономическая программа, когда она была однажды предложена, была открыта для принятия всем миром, вряд ли кто-либо из его современников выполнил какой-либо значительный объем работы, сравнимый по масштабам с его собственной.

Едва ли не единственным астрономом того периода, чьи работы заслуживают упоминания наряду с работами Гершеля, хотя и сильно уступают им как по масштабам, так и по оригинальности, был *Иоганн Иеронимус Шретер* (1745-1816).

Занимая официальную должность в Лилиентале, недалеко от Бремена, он в течение примерно тридцати лет посвящал свой досуг изучению планет и Луны и, в меньшей степени, других тел.

Как было замечено в случае с Венерой (§ 267), его результаты не всегда были надежными, но, несмотря на некоторые ошибки, он значительно расширил наши знания о внешнем виде, представленном различными планетами, и, в частности, изучил видимые особенности Луны с точностью, намного превосходящей точность любого из его предшественников, и предпринял некоторую попытку вывести из своих наблюдений данные о ее физическом состоянии. Его два тома о Луне (*Selenotopographische Fragmente*, 1791 и 1802) и другие второстепенные работы представляют собой кладезь ценных деталей, которым более поздние исследователи были в значительной степени обязаны.

ГЛАВА XIII.
ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ ВЕК.

“Чем обширнее сфера нашего знания, тем шире поверхность его соприкосновения с бесконечностью нашего невежества”.

272. Последние три главы содержали некоторый отчет о прогрессе, достигнутом в трех областях астрономии, которые, хотя и накладываются друг на друга и оказывают важное влияние друг на друга, в значительной степени изучаются разными людьми, разными методами и преследуют разные цели. Разницу, пожалуй, лучше всего понять, подумав о работах великих мастеров в каждой области - Брэдли, Лапласа и Гершеля. Разница настолько велика, что Деламбр в своей стандартной истории астрономии практически игнорирует работы великой школы астрономов-математиков, которые были его современниками и непосредственными предшественниками, не из-за недостатка понимания их важности, а потому, что он рассматривает их работу какотносящуюся скорее к математике, чем к астрономии; в то время как Бессель (§ 277), говоря, что функция астрономии состоит в том, чтобы “определять места на небе, где были, есть и будут солнце, луна, планеты, кометы и звезды”, исключает из ее сферы применения почти все, что относится к астрономии. на что была направлена энергия Гершеля.

Текущая современная практика, однако, более либеральна в использовании языка, чем Деламбр или Бессель, и считает удобным признавать все три предмета или группы предметов, упоминаемых как неотъемлемые части одной науки.

О взаимной связи гравитационной астрономии и того, что для удобства было названо наблюдательной астрономией, уже говорилось (глава X,§ 196). Следует, однако, отметить, что последний термин до сих пор использовался в этой книге главным образом для обозначения только одной части астрономическойработы, которая касается главным образом наблюдений. Наблюдения играли по меньшей мере такую же большую роль в работе Гершеля, как и в работе Брэдли, но цели этих двух людей во многом отличались. Брэдли был заинтересован главным образом в том, чтобы как можно точнее установить видимое положение неподвижных звезд на небесной сфере, а также положения и движения тел солнечной системы, причем первое

начинание было в значительной степени вспомогательным по отношению ко второму. Гершель, с другой стороны, хотя некоторые из его исследований, *например,* в области параллакса неподвижных звезд и движения спутников Урана, были точно такими же, как некоторые из исследований Брэдли, был гораздо больше озабочен вопросами внешнего вида, взаимных отношений и структуры самих небесных тел. Этот последний раздел астрономии удобно называть **описательной астрономией**, хотя это название не совсем подходит для исследований физической структуры и химического состава небесных тел, которые часто объединяются под этим названием и которые играют важную роль в астрономии наших дней.

273. Гравитационная астрономия и астрономия точных наблюдений неуклонно развивались в течение девятнадцатого века, но ни в том, ни в другом не было революции, и достигнутые успехи были в значительной степени такого характера, что были едва понятны и еще менее интересны тем, кто не является экспертом. Следовательно, описание их в этой главе обязательно должно носить самый краткий характер и касаться либо общих тенденций, либо отдельных результатов менее технического характера, чем остальные.

Описательная астрономия, с другой стороны, которую можно рассматривать как почти такое же творение Гершеля, как гравитационную астрономию — Ньютона, не только получила значительное развитие в русле, заложенном ее основателем, но и получила - главным образом благодаря изобретению спектрального анализа (§ 299) — распространение в области, не только немыслимые, но и едва мыслимые столетие назад. Большинство результатов описательной астрономии — в отличие от результатов более старых разделов предмета — легко доступны для понимания и довольно интересны тем, кто мало знаком с предметом; в частности, они пока в значительной степени независимы от математических идей и языка,которые доминируют в астрономии и делают ее непривлекательной или недоступной для многих. Более того, описательная астрономия не только может быть оценена и изучена, но и ее прогрессу могут оказать материальную помощь наблюдатели, не обладающие ни знаниями высшей математики, ни каким-либо сложным инструментальным оборудованием.

Соответственно, в то время как преемники Лапласа и Брэдли были по большей части астрономами по профессии, прикрепленными к общественным обсерваториям или университетам, огромнаямасса ценной описательной работы была выполнена любителями, которым, подобно Гершелю на начальном этапе его карьеры, приходилось посвящать большую часть своей энергии профессиональной работе других видов, и которые, хотя в некоторых случаях были оснащены лучшими инструментами, во многих других были снабжены лишь скудным инструментальным оборудованием. По этим и другим причинам одной из наиболее примечательных особенностей астрономии девятнадцатого века стало значительное развитие, особенно в нашей стране и в Соединенных Штатах, всеобщего интереса к предмету и создания большого количества частных обсерваторий, почти полностью посвященных изучению специальных разделов описательной астрономии. Соответственно, девятнадцатый век стал свидетелем приобретения беспрецедентного объема подробных астрономических знаний. Но богатство накопленного таким образом материала превысило наши возможности интерпретации, и в ряде случаев наши знания о каком-либо конкретном разделе описательной астрономии состоят, с одной стороны, из огромной серии тщательных наблюдений, а с другой - из одной или нескольких в высшей степени умозрительных теорий, редко способных объяснить больше, чем небольшую часть наблюдаемых фактов.

Таким образом, имея дело с прогрессом современной описательной астрономии, пресловутая трудность увидеть лес из-за деревьев необычайно велика. Давать отчет в рамках одной главы даже о наиболее важных фактах, добавленных к нашим знаниям, было бы безнадежной попыткой; к счастью, это также было бы излишним, поскольку их можно найти во многих легкодоступных учебниках по астрономии или в трактатах по специальным разделам предмета. Все, что можно попытаться, - это дать некоторый отчет об основных направлениях, по которым был достигнут прогресс, и указать на некоторые общие выводы, которые, как представляется, основаны на достаточно надежной основе.

274. Прогресс точных наблюдений, конечно, в значительной степени основывался на достижениях инструментальных средств. Значительные улучшения были достигнуты не только в чрезвычайно тонкой работе по изготовлению больших линз, но и в градуированных кругах и других деталях крепления телескопа, от которых зависит точность измерений, которые также могут быть сконструированы с гораздо большей точностью и достоверностью, чем в начале века. Также были внедрены новые методы установки телескопов, а также проведения и записи наблюдений, и все это способствовало повышению точности. Установлено, что для решения определенных специальных задач фотография обладает большими преимуществами по сравнению с наблюдениями глазами, хотя до сих пор ее наиболее важными приложениями были описательная астрономия.

275. Необходимость учета различных известных источников ошибок в наблюдениях и уменьшения, насколько это возможно, последствий ошибок, вызванных неизвестными причинами, была признана даже Тихо Браге (глава V.,§ 110) и сыграла важную роль в работе Флемстида и Брэдли (глава X., §§ 198, 218). Некоторые дальнейшие важные шаги в этом направлении были предприняты в начале текущего столетия. Метод **наименьших квадратов**, основанный независимо двумя великими математиками,*Адрианом Мари Лежандром* (1752-1833) из Парижа и *Карлом Фридрихом Гауссом* (1777-1855) из Геттингена,159 был систематическим методом объединения наблюдений, которые давали несколько отличающиеся результаты, таким образом, чтобы быть как можно ближе к истине. насколько это возможно. Любое обычное физическое измерение, *например,* длины, каким бы тщательным оно ни было, неизбежно является несовершенным; если одно и то же измерение производится несколько раз, даже при почти идентичных условиях, результаты в целом будут незначительно отличаться; и возникает вопрос о том, как их объединить, чтобы получить наиболее удовлетворительный результат. Обычной практикой в этом простом случае долгое время было брать среднее арифметическое различных результатов. Но астрономам постоянно приходится иметь дело с более сложными случаями, в которых *две* или более неизвестных величины должны быть определены из наблюдений за различными величинами, как, например, когда элементы орбиты планеты (глава XI., § 236) должны быть найдены из наблюдений положения планеты в разное время. Метод наименьших квадратов дает правило для рассмотрения таких случаев, которое было обобщением обычного правила средних значений для случая одной неизвестной величины; и оно было разработано таким образом, чтобы обеспечить объединение наблюдений различной ценности, таких как наблюдения, сделанные наблюдателями с неодинаковой квалификацией или с помощью разных инструментов, или при более или менее благоприятных погодных условиях и т.д. Это также дает простой способ проверить посредством их взаимной согласованности ценность серии наблюдений и сравнить их вероятную точность с точностью некоторых других серий, выполненных в других условиях. Метод наименьших квадратов и частный случай “среднего” могут быть выведены из

определенного предположения относительно общего характера причин, приводящих к рассматриваемой ошибке; но само предположение не может быть обосновано*априори*; с другой стороны, удовлетворительные результаты, полученные при применении этого правила к большому разнообразию задач в астрономии и физике, показали, что в большом количестве случаев неизвестные причины ошибки должны быть приблизительно того типа, который рассматривался. Поэтому этот метод очень широко используется в астрономии и физике везде, где стоит приложить усилия для обеспечения максимально достижимой точности.

276. Другие вклады Лежандра в науку были почти полностью связаны с разделами математики, едва затрагивающими астрономию. Гаусс, с другой стороны, почти полвека возглавлял Геттингенскую обсерваторию, и хотя его самая блестящая и важная работа была в области чистой математики, в то время как он проводил некоторые исследования первостепенной важности в области магнетизма и других разделов физики, он также внес еще несколько важных вкладов в астрономию. По большей части это были процессы различного рода вычислений, необходимые для использования астрономических наблюдений, наиболее известным из которых является метод расчета орбиты планеты на основе трех полных наблюдений ее положения, который был опубликован в его *Теории Движения* (1809). Как мы видели (глава XI., (§ 236), полное определение орбиты планеты зависит от шести независимых элементов: любое полное наблюдение положения планеты на небе в любой момент времени дает две величины,*например,* прямое восхождение и склонение (глава II., § 33); следовательно, три полных наблюдения дают шесть уравнений и теоретически адекватны для определения элементов орбиты; но до сих пор не было сочтено необходимым рассматривать проблему в такой форме. Орбиты всех планет, кроме Урана, были рассчитаны постепенно с использованием серии наблюдений, растянувшихся на столетия; и оказалось возможным использовать наблюдения, сделанные в определенное время, выбранное таким образом, чтобы определенные элементы могли быть определены без какого-либо точного знания других; даже Уран находился под наблюдением в течение значительного времени, прежде чем его траектория была определена с какой-либо точностью; а в случае с кометами не только была доступна значительная серия наблюдений, но и проблема упрощалась тем фактом, что орбиту можно было принять за почти или полностью параболу вместо эллипса (глава IX .,§ 190). Открытие новой планеты Церера 1 января 1801 года (§ 294) и ее исчезновение, когда за ней наблюдали всего несколько недель, создали практически новую проблему при расчете орбиты. Гаусс применил свои новые методы, включая метод наименьших квадратов, к имеющимся наблюдениям и с полным успехом, планета была вновь открыта в конце года почти в том положении, которое было указано в его расчетах.

277. Теория “редукции” наблюдений (глава X, § 218) была впервые систематизирована и значительно усовершенствована*Фридрихом Вильгельмом Бесселем* (1784-1846), который более тридцати лет был директором новой прусской обсерватории в Кенигсберге. Его первой большой работой было сокращение и публикация гринвичских наблюдений Брэдли (глава X., § 218). Это предприятие включало тщательное изучение таких вызывающих беспокойство причин, как прецессия, аберрация и рефракция, а также ошибок приборов Брэдли. Они учитывались в едином и систематическом плане, и результатом стала публикация в 1818 году, под названием *Fundamenta Astronomiae*, каталога расположения 3222 звезд по состоянию на 1755 год. Особой проблемой, рассмотренной в ходе работы, была проблема рефракции. Хотя полное теоретическое решение было тогда, как и сейчас, недостижимым, Бесселю удалось построить таблицу преломлений, которая очень точно соответствовала наблюдениям и была представлена

в такой форме, что необходимая поправка для звезды практически в любом положении могла быть получена без особых проблем. Его общие методы сокращения, опубликованные, наконец, в его*региональных таблицах* (1830), также имели большое преимущество в организации необходимых вычислений таким образом, что они могли быть выполнены с очень небольшими затратами труда и с помощью почти механического процесса, который мог быть легко выполнен помощником средней квалификации. В дополнение к редактированию наблюдений Брэдли, Бессель предпринял новую серию собственных наблюдений, выполненных в период с 1821 по 1833 год, на основе которых были составлены два новых каталога, содержащих около 62 000 звезд, появившихся после его смерти.

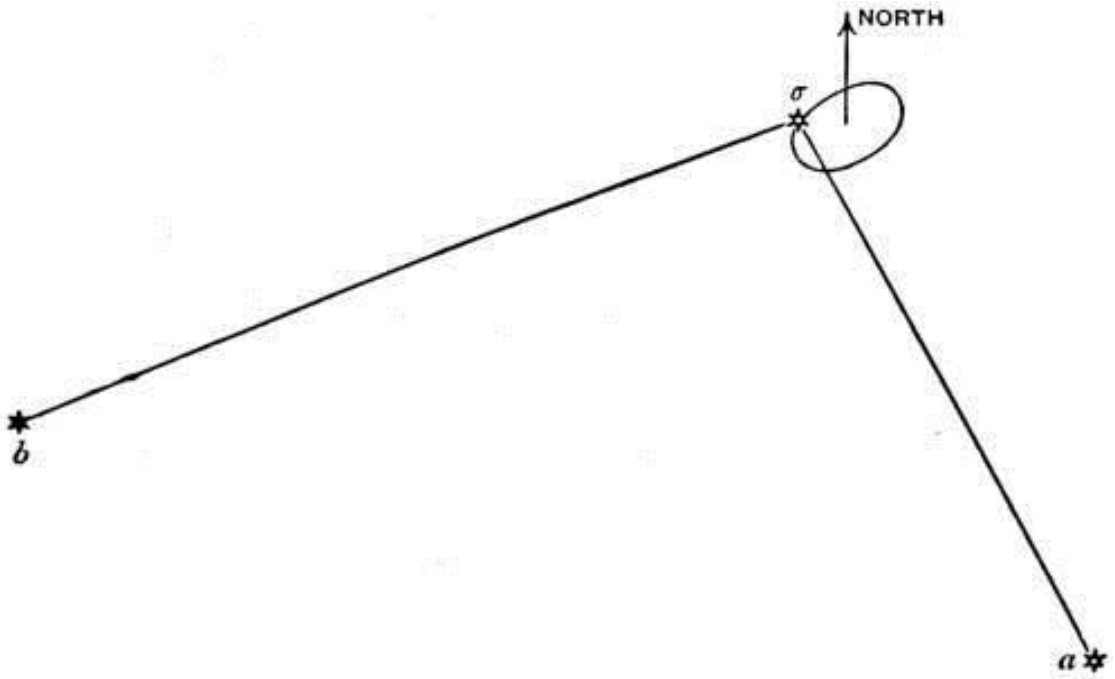


Рис. 85.—*61 Лебедь* и две соседние звезды, использованные Бесселем.

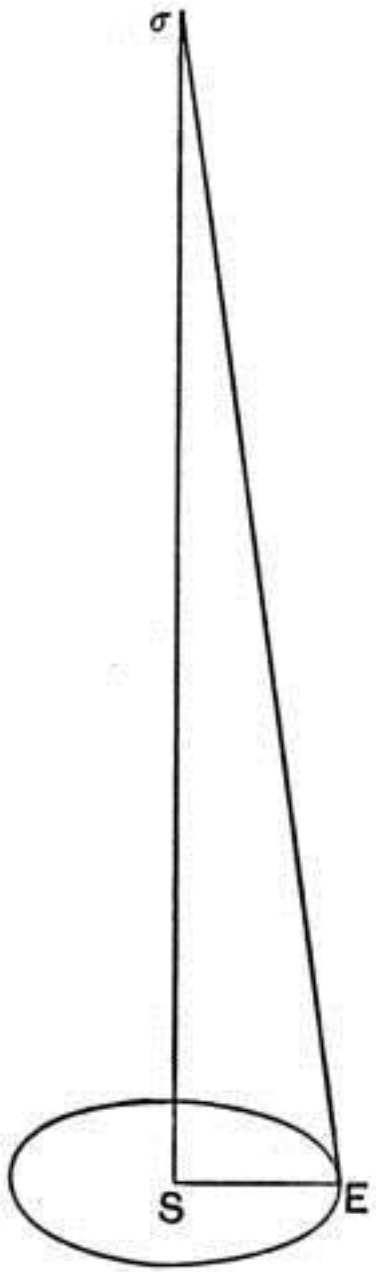


Рис. 86. Параллакс *61 Лебедя*.

278. Самой запоминающейся из специальных работ Бесселя стало первое точное обнаружение параллакса неподвижной звезды. Он отказался от теста яркости как признака близости и выбрал звезду (*61 Лебедь*), которая была едва видна невооруженным глазом, но отличалась большим собственным движением (около 5 дюймов в год); очевидно, что если звезда движется в пространстве с заданной скоростью (в милях в час), то чем ближе она к наблюдателю, тем более быстрым кажется ее движение, так что кажущаяся скорость движения, как и яркость, является вероятным, но ни в коем случае не безошибочным признаком близости. В качестве модификации дифференциального метода Галилея (глава VI, § 129, и глава XII, § 263) было принято угловое расстояние *61 Лебедя* от двух соседних звезд, тусклость и неподвижность которых предполагали их большое расстояние в пространстве, которое измерялось с частыми

интервалами в течение года. Из изменений в этих расстояниях σ *a*, σ *b* (на рис. 85), можно было бы вычислить размер малого эллипса, описываемого через σ. Результат, объявленный в конце 1838 года, заключался в том, что годовой параллакс звезды составлял около 1/3" (глава VIII, § 161), *т.* что звезда находилась на таком расстоянии, что наибольшее угловое расстояние Земли от Солнца при взгляде со звезды (угол S σ E на рис. 86, где S - солнце, а E - земля) составляло этот незначительный угол.160 Результат был подтвержден, с небольшими изменениями, новым исследованием Бесселя в 1839-40 годах, но более поздние работы, по-видимому, показали, что параллакс немного меньше 1/2 дюйма.161 Согласно этой последней оценке, видимый размер пути земли вокруг Солнца, видимый со звезды, такой же, как у полпенни на расстоянии более трех миль. Другими словами, расстояние до звезды примерно в 400 000 раз превышает расстояние до солнца, которое само по себе составляет около 93 000 000 миль. Очевидно, что миля - это очень маленькая единица для измерения такого огромного расстояния; и практика выражения таких расстояний посредством светового времени, необходимого для совершения путешествия, часто оказывается удобной. Путешествуя со скоростью 186 000 миль *в секунду* (§ 283), свету требуется более шести лет, чтобы достичь нас от *61 Лебедя*.

279. За решением Бесселем великой проблемы, ставившей астрономов в тупик со времен Копперника, немедленно последовали две другие. В начале 1839 г.*Томас Хендерсон* (1798-1844) объявил параллакс, равный почти 1" для яркой звезды α *Центавра*, которую он наблюдал на мысе, а в следующем году *Фридрих Георг Вильгельм Струве* (1793-1864) получил из наблюдений, сделанных в Пулкове, параллакс, равный 1/4" для *Веги*; более поздние работы сократили эти цифры до 3-4" и 1/10" соответственно.

Впоследствии был проведен ряд других определений параллакса. Интересное изменение метода внес покойный профессор Оксфорда *Чарльз Притчард* (1808-1893), *сфотографировав* исследуемую звезду и ее спутников, а затем измерив расстояния на фотографии, вместо непосредственного измерения угловых расстояний микрометром.

В настоящее время с некоторой разумной степенью вероятности установлено, что около 50 звезд имеют измеримые, хотя и довольно неопределенные параллаксы; α*Центавра* по-прежнему остается ближайшей звездой, расстояние до которой составляет около четырех лет. Значительное количество других звезд было исследовано с отрицательными или крайне неопределенными результатами, указывающими на то, что их параллаксы слишком малы, чтобы их можно было измерить нашими нынешними средствами, и что их расстояния соответственно велики.

280. За это столетие было составлено множество звездных каталогов и звездных карт — слишком многочисленных, чтобы упоминать их отдельно, — что свидетельствует о неуклонном прогрессе в наших знаниях о положении звезд и предоставляет свежие материалы для определения путем сравнения состояния неба в разные эпохи таких величин, как собственное движение звезд и величина прецессии. Среди наиболее важных - большой каталог из 324 198 звезд северного полушария, известный как Bonn *Durchmusterung*, опубликованный в 1859-62 годах учеником Бесселя *Фридрихом Вильгельмом Августом Аргеландером* (1799-1875); он был расширен (1875-85), чтобы включить 133 659 звезд в части южного полушария *Эдуардом Шенфельдом* (1828-1891); а совсем недавно доктор *Гилл* выполнил на мысе Кейп фотографические наблюдения остальной части южного полушария, включая сведение к форме каталога (первая часть которого была опубликована в 1896 году) было выполнено профессором

Каптейном из Гронингена. Расположение звезд, определенное в этих каталогах, не претендует на самую достижимую точность, и для многих целей важно знать с предельной точностью положения меньшего числа звезд. Крупнейшее предприятие такого рода, начатое Немецким астрономическим обществом в 1867 году, направлено на создание в сотрудничестве с рядом обсерваторий каталогов примерно 130 000 звезд, содержащихся в “приблизительных” каталогах Аргеландера и Шенфельда; к настоящему времени опубликована почти половина этой работы.

Величайшей схемой для обзора неба, которую когда-либо пытались использовать, является фотографическая карта вместе с менее обширным каталогом, который будет основан на ней, решение о создании которого было принято на международном конгрессе, состоявшемся в Париже в 1887 году. Все небо было разделено между 18 обсерваториями во всех частях света, от Гельсингфорса на севере до Мельбурна на юге, и каждая из них сейчас делает фотографии практически идентичными инструментами. Предполагается, что полная карта, которая предназначена для включения звезд 14-й величины,162 будет содержать около 20 000 000 звезд, 2 000 000 из которых также будут каталогизированы.

281. Еще одну важную проблему — проблему расстояния до Солнца — удобно обсудить в разделе наблюдательной астрономии.

За прохождениями Венеры (глава X., §§ 202, 227), которые произошли в 1874 и 1882 годах, велись интенсивные наблюдения, старые методы определения времени были дополнены фотографией и прямыми микрометрическими измерениями положения Венеры во время прохождения.

Метод определения расстояния до солнца посредством наблюдения противоположного Марса (глава VIII, § 161) использовался несколько раз со значительным успехом, в частности доктором Джиллом в Ascension в 1877 году. Метод, первоначально использовавшийся Флемстидом, но возрожденный в 1857 году *сэром Джорджем Бидделлом Эйри* (1801-1892), покойным королевским астрономом, был принят по этому случаю. Для определения параллакса планеты наблюдения должны производиться с двух разных позиций на известном расстоянии друг от друга; обычно они проводятся в двух разных обсерваториях, максимально удаленных друг от друга по широте. Эйри указал, что той же цели можно было бы достичь, если бы использовалась только одна обсерватория, но наблюдения проводились с интервалом в несколько часов, поскольку вращение земли вокруг своей оси за это время привело бы к известному смещению положения наблюдателя и, таким образом, обеспечило бы необходимую базовую линию. Видимое изменение положения планеты легче всего установить, измерив (с помощью микрометра) ее расстояния от соседних неподвижных звезд. Этот метод (известный как **суточный метод**) обладает большим преимуществом, среди прочего, в том, что он прост в применении, поскольку требуется только один наблюдатель и инструмент.

Суточный метод также с большим успехом применялся к некоторым малым планетам (§ 294). Вращаясь между Марсом и Юпитером, все они находятся дальше от нас, чем первые; но есть компенсирующее преимущество: поскольку малая планета, в отличие от Марса, как правило, слишком мала, чтобы образовать сколько-нибудь заметный диск, ее угловое расстояние от соседней звезды легче измерить. Использование малых планет таким образом было впервые предложено профессором *Галле* из Берлина в 1872 году, а недавние наблюдения малых планет *Виктории*, *Сапфо* и *Ириса*, проведенные в 1888-89 годах в ряде обсерваторий под общим

руководством доктора Гилла, привели к некоторым наиболее удовлетворительным определениям расстояния до Солнца.

282. Математическим астрономам 18 века было известно, что расстояние до солнца может быть получено на основе знания различных возмущений элементов солнечной системы; а Лаплас вывел величину солнечного параллакса из лунной теории. Усовершенствования в гравитационной астрономии и в наблюдении за планетами и Луной в течение нынешнего столетия значительно повысили ценность этих методов. Определенная неравномерность в движении Луны, известная как **параллактическое неравенство**, и другая неравномерность в движении солнца, называемая **лунным уравнением**, обусловленная смещением земли под действием притяжения Луны, одинаково зависят от соотношения расстояний солнца и Луны от земли; если можно наблюдать величину любого из этих неравенств, следовательно, можно вывести расстояние до солнца, расстояние до Луны известно с большой точностью. Именно путем практического применения первого из этих методов Хансен (§ 286) в 1854 году в ходе тщательного исследования лунной теории установил, что текущее значение расстояния до солнца явно слишком велико, а Леверье (§ 288) подтвердил поправку вторым методом в 1858 году.

Опять же, известно, что определенные изменения в орбитах двух наших соседей, Венеры и Марса, зависят от соотношения масс Солнца и земли и, следовательно, могут быть связаны гравитационными принципами с искомой величиной. Леверье указал в 1861 году, что движения Венеры и Марса, как и движения Луны, не согласуются с полученной оценкой расстояния до солнца, и впоследствии он разработал метод более полно и вывел (1872) значения параллакса. Наблюдаемые перемещения очень незначительны, и их точное определение ни в коем случае не является легким делом, но оба они являются вековыми (глава XI,§ 242), так что со временем их можно будет очень точно измерить. Метод Леверье, который даже сейчас является ценным, поэтому почти неизбежно должен опережать все другие, известные в настоящее время; трудно представить, например, что транзиты Венеры, которые должны состояться в 2004 и 2012 годах, будут иметь какое-либо значение для определения расстояния до Солнца.

283. В этом столетии стал доступен еще один метод в двух слегка отличающихся формах. Смещение звезды в результате аберрации (глава X., § 210) зависит от отношения скорости света к скорости Земли на ее орбите вокруг Солнца; а наблюдения спутников Юпитера по методу Ремера (глава VIII., § 162) дают **уравнение освещенности**, или время, затрачиваемое светом на путь от солнца до земли. Любая из этих астрономических величин, из которых аберрация известна более точно, может быть использована для определения скорости света, когда известны размеры солнечной системы, или*наоборот*. Ни один независимый метод определения скорости света не был известен до 1849 года, когда *Ипполит Физо* (1819-1896) изобрел и успешно применил лабораторный метод.

С тех пор были разработаныновые методы, и три сравнительно недавних серии экспериментов, проведенных М. *Корню* во Франции (1874 и 1876) и доктором *Майкельсоном* (1879) и профессором *Ньюкомбом* (1880-82) в Соединенных Штатах, в совокупности позволили зафиксировать скорость света почти на уровне 186 300 миль (299 800 километров) в секунду; солнечный параллакс, возникающий в результате аберрации, составляет почти 8"· 8.163

284. Значение параллакса Солнца Энке, 8"· 571, выведенное из транзитов Венеры (глава X.,§ 227) в 1761 и 1769 годах и опубликованное в 1835 году, соответствует расстоянию примерно в 95

000 000 миль, было общепринятым до середины столетия. Затемгравитационные методы Хансена и Леверье, более ранние определения скорости света и наблюдения, сделанные при столкновении Марса в 1862 году, - все указывало на значительно большее значение параллакса; свежий анализ наблюдений 18 века показал, что из них можно было легко вывести большие значения, чем у Энке; и в течение некоторого времени — примерно с 1860 года — параллакс почти 8 "· 95, соответствующий расстоянию, значительно превышающему 91 000 000 миль, был в обычном употреблении. Однако были обнаружены различные небольшие ошибки в новых методах, и наиболее вероятное значение параллакса снова увеличилось. Три наиболее надежных метода, суточный метод, примененный к Марсу в 1877 году, такой же, примененный к малым планетам в 1888-89 годах, и аберрация, объединяются в получении значений, не отличающихся от 8"· 80 более чем на две-три сотых секунды. Результаты последних проходов Венеры, публикация и обсуждение которых растянулись на многие годы, указывают на несколько большее значение параллакса. Большинство астрономов, по-видимому, согласны с тем, что параллакс 8 "· 8, соответствующий расстоянию значительно меньше 93 000 000 миль, вполне соответствует имеющимся данным.

285. Мельчайшая точность современных наблюдений хорошо иллюстрируется недавним открытием изменения широты несколькими обсерваториями. Наблюдения, проведенные в Берлине в 1884-85 годах, показали незначительное изменение широты; специальные серии наблюдений для проверки этого были проведены в нескольких европейских обсерваториях, а впоследствии в Гонолулу и Кордове. В результате возникло периодическое изменение широты, составляющее примерно 1/2 дюйма. Широта, определяемая (глава X., § 221) как угол, который вертикаль в любом месте составляет с экватором, что равно высоте полюса над горизонтом, следовательно, изменяется при любом изменении экватора и, следовательно, при изменении положения полюсов Земли или концов оси, вокруг которой она вращается.

Доктору *С. К. Чандлеру* удалось (в 1891 году и впоследствии) показать, что рассматриваемые наблюдения можно в значительной степени объяснить, предположив, что земная ось претерпевает незначительное изменение положения таким образом, что любой полюс земли описывает круг вокруг своего среднего положения примерно за 427 дней, никогда не отклоняясь от него более чем на 30 футов. Из динамической теории хорошо известно, что вращающееся тело, такое как земля, может смещаться таким образом, но что если бы земля была абсолютно твердой, то период должен был составлять 306 дней вместо 427. Расхождение между этими двумя числами было изобретательно использовано как критерий того, до какой степени земля способна поддаваться — подобно упругому твердому телу — различным силам, которые стремятся ее деформировать.

286. Все великие проблемы гравитационной астрономии были переосмыслены со времен Лапласа, и были предприняты дальнейшие шаги к их решению.

Трактовка лунной теории Лапласом была впервые разработана*Мари Шарлем Теодором Дамуазо* (1768-1846), чьи *Лунные таблицы* (1824 и 1828) некоторое время были широко распространены.

Некоторыми специальными проблемами как лунной, так и планетной теории занимался *Симеон Дени Пуассон* (1781-1840), который, однако, более известен как писатель по другим разделам математической физики, чем как астроном. Очень сложная и детальная теория Луны, исследованная общими методами Лапласа, была опубликована *Джованни Антонио Амадео Плана* (1781-1869) в 1832 году, но без таблиц. Общее изложение как лунной, так и планетарной

теорий, наиболее полное из появившихся к тому времени, было написано *Филиппом Гюставом Дулсе де Понтекуланом* (1795-1874) в 1846 году под названием *Теория анализа системы мира*; а неполная лунная теория, похожая на его, была опубликована *Джоном Уильямом Лаббоком* (1803-1865) в 1830-34 годах.

Большой прогресс в лунной теории был сделан *Питером Андреасом Хансеном* (1795-1874) из Готы, который опубликовал в 1838 и 1862-64 годах трактаты, широко известные соответственно как "*Фундамента*164" и "*Дарлегунг*",165 и составил в 1857 году таблицы движения Луны с такой точностью, что расхождения между таблицами и наблюдениями в 1750-1850 годах никогда не превышали 1"или 2". Эти таблицы сразу же были использованы для расчетов в *Морском альманахе* и других периодических изданиях того же рода и с некоторыми изменениями используются по сей день.

Совершенно новая лунная теория, представляющая большой математический интерес и не менее сложная, была опубликована *Чарльзом Делоне* (1816-1872) в 1860 и 1867 годах. К сожалению, автор умер до того, как смог составить соответствующие таблицы.

Профессор Ньюкомб из Вашингтона (§ 283) оказал ценные услуги лунной теории — как и другим разделам астрономии — рядом тонких и запутанных вычислений, наиболее известным из которых является его сравнение таблиц Хансена с наблюдениями и последующими исправлениями таблиц.

Новые методы работы с лунной теорией были разработаны покойным профессором *Джоном Коучем Адамсом* из Кембриджа (1819-1892), и аналогичные методы были разработаны доктором *Г. В. Хиллом* из Вашингтона; до сих пор они не были детально проработаны таким образом, чтобы их можно было использовать для составления таблиц, и в настоящее время их интерес, по-видимому, скорее математический, чем практический; но необходимая детальная работа сейчас ведется, и можно ожидать, что эти и смежные методы приведут к значительному уменьшению нынешней чрезмерной сложности лунной теории.

287. Возможно, стоит упомянуть один особый момент в лунной теории. Вековое ускорение среднего движения Луны, которое ставило в тупик астрономов с момента его первого открытия Галлеем (глава X., § 201), как мы видели (глава XI., § 240), получило объяснение в 1787 году от Лапласа. Адамс, проведя расчеты, обнаружил, что некоторые величины, опущенные Лапласом как несущественные, в действительности оказали очень ощутимое влияние на результат, так что определенная величина, выражающая скорость увеличения движения Луны, оказалась между 5 " и 6", вместо примерно 10", как обнаружил Лаплас и как требовали наблюдения. Исправление сначала оспаривалось несколькими ведущими экспертами, но было независимо подтверждено Делоне и теперь принято. Вследствие этого скорость Луны, по-видимому, увеличивается на очень малую величину, чему теория тяготения не дает объяснения. Остроумное, хотя и ни в коем случае не определенное объяснение было предложено Делоне в 1865 году. Кантом было замечено, что **приливное трение**, то есть трение, возникающее между твердой землей и океаном в результате приливного движения последнего, будет иметь эффект, в некоторой степени сдерживающий вращение земли; но поскольку эффект казался чрезмерно незначительным и не поддавался точному расчету, им обычно пренебрегали. Однако попытка рассчитать его величину была предпринята в 1853 году *Уильямом Феррелом*, который также

указал, что, поскольку период вращения Земли — сутки — является нашей основной единицей времени, уменьшение скорости вращения земли влечет за собой удлинение нашей единицы времени и, следовательно, приводит к очевидному увеличению скорости всех других движений, измеряемых в терминах этой единицы. Делоне, работая независимо, пришел к аналогичным выводам и показал, что приливное трение, таким образом, может вызывать именно такое изменение в движении Луны, которое требует объяснения; если бы это объяснение было принято, наблюдаемое движение Луны дало бы представление о влиянии приливного трения. Незначительность рассматриваемых величин подтверждается тем фактом, что изменения во вращении Земли, эквивалентного удлинению суток на 1/10 секунды за 10 000 лет, достаточно для объяснения рассматриваемого ускорения. Более того, ни в коем случае нельзя быть уверенным в том, что обычная оценка величины этого ускорения, частично основанная на древних наблюдениях затмений, верна, и даже тогда часть его, предположительно, может быть вызвана каким—то косвенным эффектом гравитации, еще более неясным, чем тот, который обнаружил Лаплас, или какой—то другой причиной, о которой до сих пор не подозревали.

288. Большинство уже упомянутых авторов по теории Луны также внесли вклад в различные разделы теории планет, но некоторые из наиболее важных достижений в теории планет, достигнутых после смерти Лапласа, были сделаны французским математиком*Урбеном Жаном Жозефом Леверье* (1811-1877), чьи методы определения расстояния до Солнца уже упоминались (§ 282). Его первой важной астрономической работой (1839) было обсуждение стабильности (глава XI,§ 245) системы, образованной Солнцем и тремя крупнейшими и наиболее удаленными из известных тогда планет - Юпитером, Сатурном и Ураном. Впоследствии он заново разработал теорию движения солнца и каждой из главных планет и составил из них таблицы, которые сразу же заменили более ранние и теперь используются в качестве основы для основных планетарных расчетов в *Морском альманахе* и большинстве других астрономических альманахов. Леверье не смог добиться удовлетворительного согласия между наблюдением и теорией в случае Меркурия, планеты, которая всегда доставляла много хлопот астрономам, и был склонен объяснять расхождения влиянием либо планеты, вращающейся между Меркурием и Солнцем, либо ряда более мелких тел, аналогичных малым планетам (§ 294).

Исследования более абстрактного характера, связывающие планетарную теорию с некоторыми из самых последних достижений чистой математики, были проведены *Хьюго Гильденом* (1841-1896), в то время как один из самых выдающихся чистых математиков того времени, М. *Анри Пуанкаре* из Парижа, недавно обратил свое внимание на астрономию и занимается исследованиями, которые, хотя и имеют в настоящее время мало отношения к практической астрономии, по-видимому, могут пролить важный свет на некоторые общие проблемы небесной механики.

289. Один незабываемый триумф гравитационной астрономии, открытие Нептуна, так часто и так полно описывался в других местах166, что здесь будет достаточно очень краткого описания. Вскоре после открытия Урана (глава XII, § 253) было обнаружено, что планета, очевидно, наблюдалась, хотя и не была признана планетой, еще в 1690 году и несколько раз позже.

Когда были предприняты первые попытки тщательно рассчитать его орбиту, оказалось невозможным удовлетворительно согласовать более ранние наблюдения с более поздними, и в таблицах Бувара (глава XI,§ 247, примечание), опубликованных в 1821 году, более ранние

наблюдения были отвергнуты. Но даже эта решительная мера не излечила зло; вскоре появились расхождения между наблюдаемыми и рассчитанными местами, которые увеличивались год от года. Былопредложено несколько объяснений, и не один астроном отверг предположение о том, что неровности могут быть вызваны притяжением доселе неизвестной планеты. Первая серьезная попытка вывести из неравномерностей в движении Урана положение этого гипотетического тела была предпринята Адамсом сразу после получения ученой степени (1843). К октябрю 1845 года ему удалось построить орбиту для новой планеты и назначить для нее положение, отличающееся (как мы теперь знаем) менее чем на 2 ° (в четыре раза больше диаметра полной луны) от ее фактического положения. Однако никаких телескопических поисков этого объекта предпринято не было. Тем временем Леверье независимо взялся за расследование, и к 31 августа 1846 года ему, как и Адамсу, удалось определить орбиту и положение возмущающего тела. 23-го числа следующегомесяца доктор Галле из Берлинской обсерватории получил от Леверье запрос на поиск и в тот же вечер обнаружил недалеко от указанного Леверье местоположения странное тело, изображающее небольшой планетный диск, который вскоре был признан новой планетой, известной теперь как Нептун.

Возможно, стоит отметить, что ошибка в движении Урана, которая привела к этому замечательному открытию, никогда не превышала 2', величины, незаметной для обычного глаза; так что, если бы на небе рядом находились две звезды, одна в истинном положении Урана, а другая в расчетном положении, указанном в таблицах Бувара, наблюдатель с обычным зрением увидел бы только одну звезду.

290. Лунные таблицы Хансена и профессора Ньюкомба, а также планетарные и солнечные таблицы Леверье, профессора Ньюкомба и доктора Хилла представляют движения рассматриваемых тел гораздо точнее, чем соответствующие таблицы, основанные на работах Лапласа, точно так же, как они, в свою очередь, были намного точнее таблиц Эйлера, Клеро и Галлея. Но согласие между теорией и наблюдениями ни в коем случае не является совершенным, и расхождения во многих случаях больше, чем можно объяснить необходимыми несовершенствами наших наблюдений.

Два наиболее поразительных случая, пожалуй, связаны с Меркурием и Луной. Объяснение Леверье неправильностей первого (§ 288) никогда не было полностью обосновано или общепринято; и положение Луны, приведенное в *Морском альманахе* и в аналогичных публикациях, рассчитано с помощью определенных поправок к таблицам Хансена, которые были выведены профессором Ньюкомбом на основе наблюдений и не имеют обоснования в теории тяготения.

291. Расчет траекторий движения комет приобрел определенное значение в этом столетии благодаря открытию ряда комет, обращающихся вокруг Солнца за сравнительно короткие периоды. Комета Галлея (глава XI,§ 231) вновь появилась должным образом в 1835 году, пройдя через свой перигелий за несколько дней до времени, предсказанного тремя независимыми вычислителями; и ее можно с уверенностью ожидать снова примерно в 1910 году. В настоящее время известны четыре другие кометы, которые, подобно комете Галлея, вращаются по вытянутым эллиптическим орбитам, завершая оборот за 70-80 лет; две из них были замечены при двух возвращениях, известных как комета Ольберса в 1815 и 1887 годах, и комета Понса-Брукса в 1812 и 1884 годах. Четырнадцать других комет с периодами, варьирующимися от 3-1 / 3

лет (Энке) до 14 лет (Таттл), были замечены более чем за одно возвращение; еще около дюжины имеют периоды, оцениваемые менее чем в столетие; и 20 или 30 других движутся по орбитам, которые явно эллиптические, хотя их периоды длиннее и, следовательно, не известны с большой уверенностью. В общей сложности были вычислены траектории примерно 230 или 240 комет, хотя многие из них весьма неопределенны.

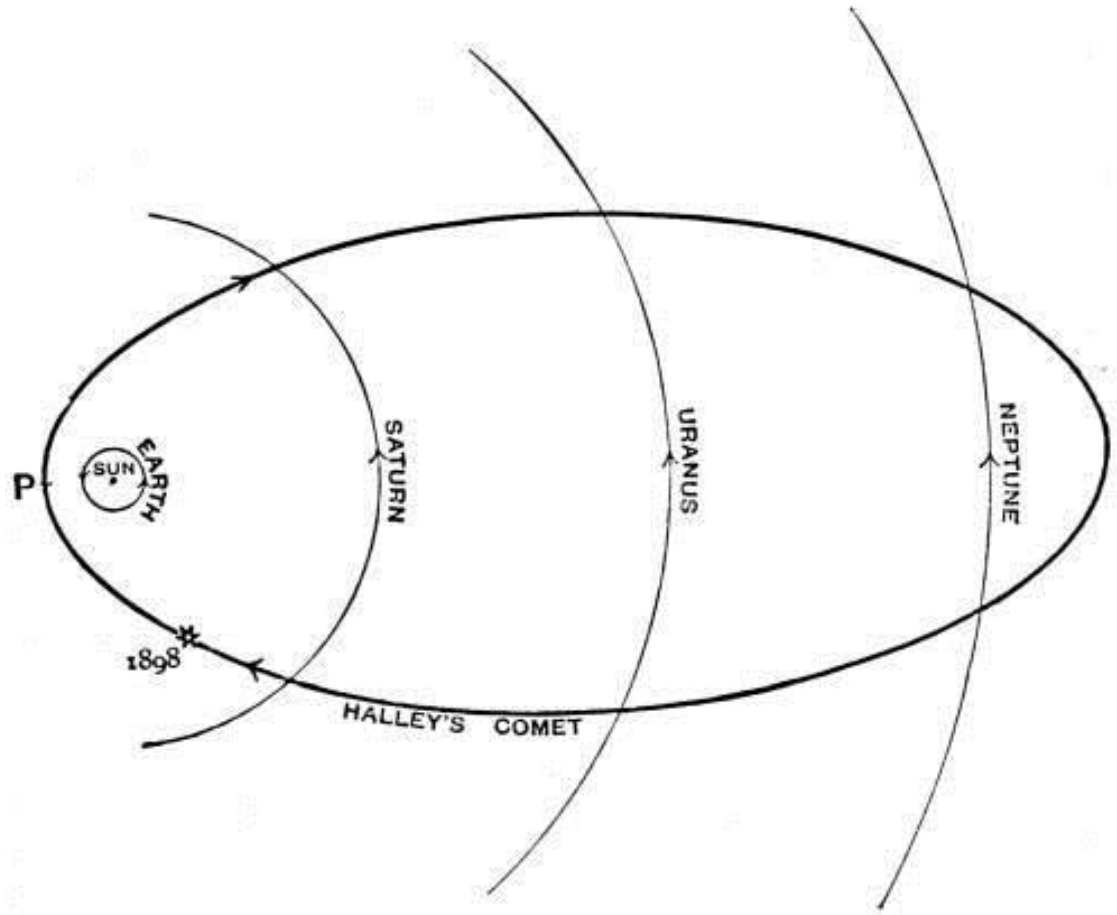


Рис. 87.—Путь кометы Галлея.

292. В теории приливов первым важным достижением, достигнутым после публикации*"Механики Селеста"*, был сбор фактических наблюдений за приливами в крупном масштабе, их интерпретация и сравнение с результатами теории. Пионерами в этом направлении были Лаббок (§ 286), который представил серию статей на эту тему Королевскому обществу в 1830-37 годах, и *Уильям Уэвелл* (1794-1866), чьи статьи на эту тему появились между 1833 и 1851 годами. Эйри (§ 281), в то время королевский астроном, также опубликовал в 1845 году важный трактат, посвященный всему предмету и подробно обсуждающий теорию приливов в водоемах ограниченной протяженности и особой формы. Анализ наблюдений за приливами, большое количество которых теперь доступно из всех частей света, впоследствии был значительно продвинут вперед с помощью новых методов благодаря лорду*Кельвину* и профессору *Г. Х. Дарвину*. Таким образом, доступно большое количество информации о том, как на самом деле изменяются приливы и отливы в разных местах и в зависимости от различного положения солнца и Луны.

В последние годы большое внимание уделялось эффекту притяжения солнца и луны— вызывающему изменения, аналогичные океаническим приливам, в самой земле. Ни одно тело не является абсолютно твердым, и поэтому силы, о которых идет речь, должны вызывать некоторый приливный эффект.Проблема была впервые исследована лордом Кельвином в 1863 году, впоследствии профессором Дарвином и другими. Хотя определенные численные результаты пока вряд ли достижимы, проведенная к настоящему времени работа указывает на сравнительную малость этих физических приливов и, как следствие, большую жесткость земли, что представляет интерес в связи с геологическими исследованиями природы недр земли.

Некоторые предположения, связанные с приливным трением, упоминаются в другом месте (§ 320).

293. Ряд положений относительно стабильности солнечной системы, установленных Лагранжем и Лапласом (глава XI,§ § 244, 245), рассматриваемых как абстрактные положения, математически выводимые из некоторых определенных допущений, были подтверждены и расширены более поздними математиками, такими как Пуассон и Леверье; но их притязание дать информацию о состоянии реальной солнечной системы в бесконечно отдаленном будущем сейчас получает гораздо меньше одобрения, чем раньше. Общая тенденция научной мысли была направлена на более полное признание чисто приблизительного и вероятного характера даже наиболее достоверных частей нашего знания; ”точный“, "всегда” и “определенный" - это слова, которые исчезают из научного словаря, за исключением удобных сокращений. Утверждения, которые претендуют на то, чтобы быть — или обычно интерпретируются как таковые — “точными” и действительными в течение всего будущего времени, следовательно, рассматриваются со значительным недоверием, если только они явно не являются простыми абстракциями.

В случае конкретных положений, о которых идет речь, прогресс астрономии и физики придал большое значение некоторым моментам, в которых допущения, требуемые Лагранжем и Лапласом, не удовлетворяются реальной солнечной системой.

Для целей теорем устойчивости предполагалось, что тела солнечной системы абсолютно твердые; другими словами, движение частей любого отдельного тела относительно друг друга игнорировалось. Таким образом, как обычные океанские приливы, так и телесные приливы, на которые обратили внимание современные исследования, были оставлены без внимания. Приливное трение, хотя в настоящее время оно очень незначительно (§ 287), существенно отличается от возмущений, составляющих основной предмет гравитационной астрономии, поскольку его действие необратимо. Теоремы об устойчивости фактически показали, что обычные возмущения приводят к эффектам, которые рано или поздно компенсируют друг друга, так что, если конкретное движение ускоряется в один момент, оно замедляется в другой; но это не относится к приливному трению. Например, приливно-отливные явления между землей и Луной постепенно удлиняют как день, так и месяц и увеличивают расстояние между землей и Луной. Действие солнечных приливов оказывает аналогичное, хотя и меньшее влияние на солнце и землю. Эффект в каждом случае — насколько мы вообще можем его измерить — кажется незначительным, почти невообразимым, но нет никакого компенсирующего действия, способного в любой момент обратить процесс вспять. И в целом энергия соответствующих тел, таким образом, уменьшается. Опять же, современные теории света и электричества требуют, чтобы пространство было заполнено “эфиром”, способным передавать определенные волны; и

хотя нет прямых доказательств того, что он каким-либо образом влияет на движение земли или планет, трудно представить среду, настолько отличную от всех известных форм обычной материи, чтобы не оказывать*никакого* сопротивления движущемуся через нее телу. Такое сопротивление привело бы к постепенному приближению членов солнечной системы к солнцу и постепенному уменьшению времени их обращения вокруг него. Это опять-таки необратимая тенденция, для которой мы не знаем никакой компенсации.

Фактически, с точки зрения Лагранжа и Лапласа, Солнечная система выглядела как часы, которые, хотя и шли не совсем регулярно, но иногда набирали обороты, а иногда и проигрывали, тем не менее, не требовали заводки; тогда как современные исследования подчеркивают аналогию с часами, которые, в конце концов, идут, хотя и с чрезмерно медленным темпом. Современное изучение солнечного тепла (§ 319) также указывает на необратимую тенденцию к “истощению” солнечной системы другим способом.

294. Наш рассказ о современной описательной астрономии удобно начать с открытий планет.

Первый день 19 века ознаменовался открытием новой планеты, известной как Церера. Она была замечена *Джузеппе Пиацци* (1746-1826) как странная звезда в области неба, которую он составлял карту, и вскоре по ее движению была признана планетой. Его орбита, впервые рассчитанная Гауссом (§ 276), показала, что он принадлежит пространству между Марсом и Юпитером, которое со времен Кеплера считалось аномально большим. То, что в этом регионе была найдена планета, поэтому не было большим сюрпризом; но открытие*Генрихом Ольберсом* (1758-1840), едва ли годом позже (март 1802 г.), второго тела (*Паллады*), вращающегося почти на том же расстоянии от солнца, было совершенно неожиданным и выявило совершенно новое планетарное устройство. Это была очевидная гипотеза о том, что если есть место для двух планет, то найдется место и для большего количества, и вскоре последовали два новых открытия (*Юноны* в 1804 году, *Весты* в 1807 году).

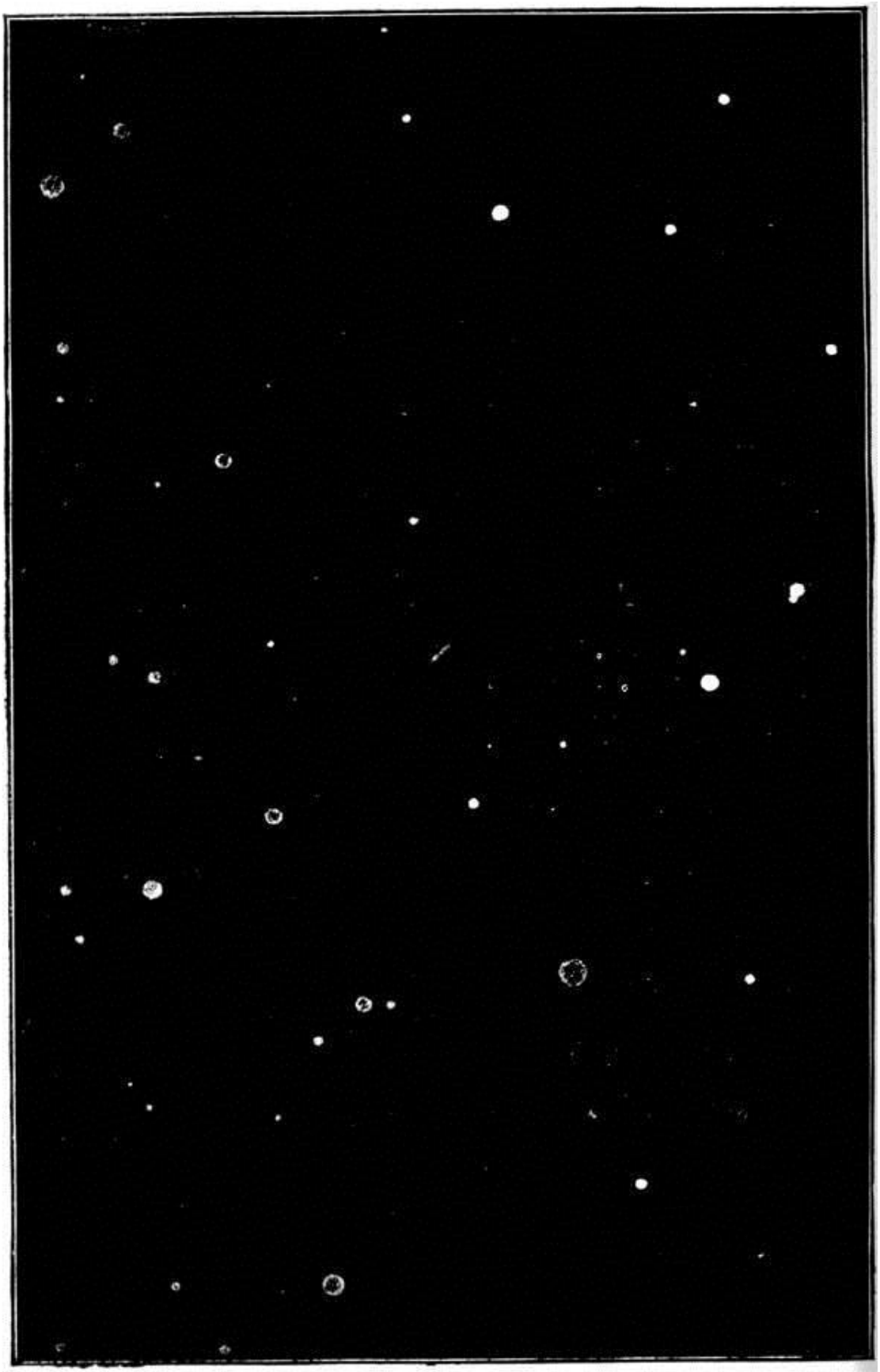


Рис. 88.Фотографический след малой планеты.

[*Лицом к лицу, стр. 377.*

Новые тела были намного меньше любой из других планет и не имели планетного диска, как их соседи Марс и Юпитер, а по внешнему виду были едва отличимы от неподвижных звезд, за исключением самых мощных телескопов того времени; поэтому название **астероид** (предложенное Уильямом Гершелем) или **малая планета** обычно использовалось для отличия их от других планет. Гершель попытался измерить их размер и оценил диаметр самой большой из них менее чем в 200 миль (диаметр Меркурия, самой маленькой из обычных планет, равен 3000), но на самом деле задача была слишком сложной даже для его непревзойденной наблюдательности. Было также обнаружено, что малые планеты отличаются большим наклоном и эксцентриситетом некоторых орбит; траектория Паллады, например, составляет угол 35 ° с эклиптикой, а ее эксцентриситет равен 1/4, так что ее наименьшее расстояние от солнца составляет не намного больше половины ее наибольшего расстояния. Эти характеристики подсказали Ольберсу, что малые планеты на самом деле были фрагментами первобытной планеты средних размеров, которая была разнесена на куски, и теория, которая соответствовала большинству известных тогда фактов, была принята с большой благосклонностью в эпоху, когда “катастрофы” все еще были в моде в качестве научных объяснений.

Названные четыре малые планеты были почти 40 лет единственными известными; затем пятая была открыта в 1845 году *Карлом Людвигом Хенке* (1793-1866) после 15 лет поисков. Еще двое были найдены в 1847 году, еще один - в 1848 году, и с тех пор их число неуклонно растет. Процессу открытий в значительной степени способствовали усовершенствования звездных карт, а в последнее время и внедрение фотографии. В этом последнем методе, впервые использованном доктором *Максом Вольфом* из Гейдельберга в 1891 году, фотографическая пластинка экспонируется в течение нескольких часов; таким образом, любая планета, присутствующая в сфотографированной области неба и заметно перемещавшаяся относительно звезд в этот период, обнаруживается по следу, который ее изображение оставляет на пластинке. На прилагаемом рисунке показан (ближе к центру) след малой планеты *Свеа*, открытой доктором Вольфом 21 марта 1892 года.

В конце 1897 года было известно не менее 432 малых планет, из которых 92 были открыты единственным наблюдателем, М. *Шарлуа* из Ниццы, и только на девять меньше профессором *Палисой* из Вены.

Траектории малых планет практически занимают всю область между траекториями Марса и Юпитера, хотя некоторые из них находятся вблизи границ; ни одна орбита не имеет большего наклона к эклиптике, чем орбита Паллады, а эксцентриситеты варьируются от почти нуля до примерно 1/3.

На рис. 89 показаны орбиты первых двух обнаруженных малых планет, а также № 323 (*Брусия*), которая ближе всего подходит к солнцу, и № 361 (пока не названа), которая находится дальше всего от него. Все орбиты описываются в стандартном направлении, или с запада на восток. Наиболее интересной характеристикой в распределении малых планет, впервые отмеченной в 1866 году *Дэниелом Кирквудом* (1815-1895), является существование сравнительно чистых пространств в областях, где возмущающее действие Юпитера было бы наиболее эффективным

согласно принципу Лагранжа (глава XI, § 243): например, на расстоянии примерно в пять восьмых расстояния от Юпитера планета по закону Кеплера вращалась бы ровно *вдвое* быстрее Юпитера; и, соответственно, между малыми планетами на расстоянии около примерно на таком расстоянии.

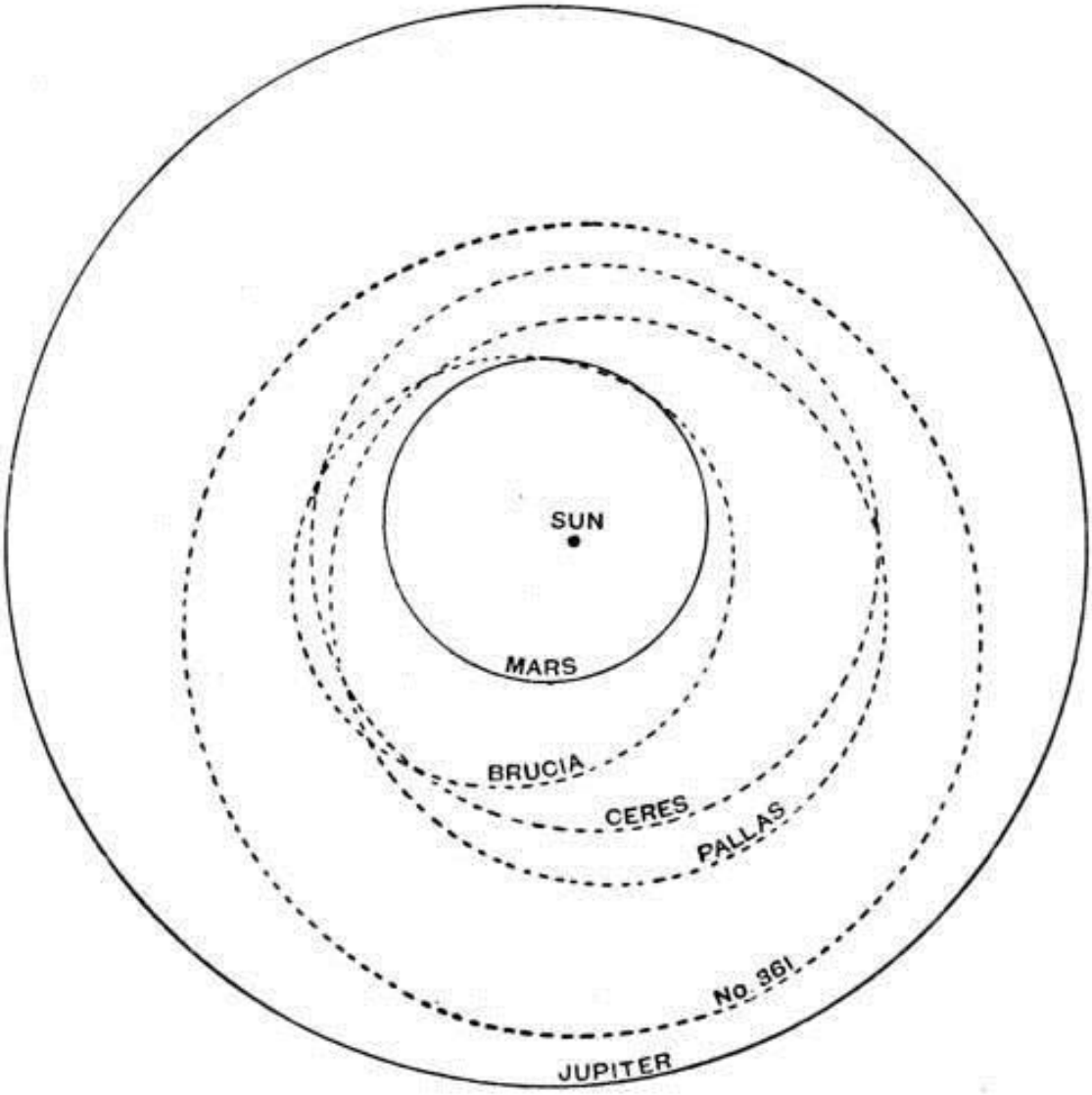


Рис. 89.Траектории малых планет.

Оценки размеров и масс малых планет все еще очень неопределенны. Первыми прямыми измерениями любого из дисков, которые кажутся надежными, являются измерения профессора *Э. Э. Барнарда*, сделанные в обсерватории Лик в 1894 и 1895 годах; согласно им, три крупнейшие малые планеты, Церера, Паллада и Веста, имеют диаметр почти 500 миль, около 300 и около 250 миль соответственно. Их размеры по сравнению с луной показаны на схеме (рис. 90). Альтернативный метод — единственный доступный, за исключением нескольких самых крупных малых планет, — заключается в измерении количества получаемого света и, следовательно, определении размера, исходя из предположения, что отражающая способность такая же, как у какой-либо известной планеты. Этот метод дает диаметры около 300 миль для самых ярких и около дюжины миль для самых слабых из известных.

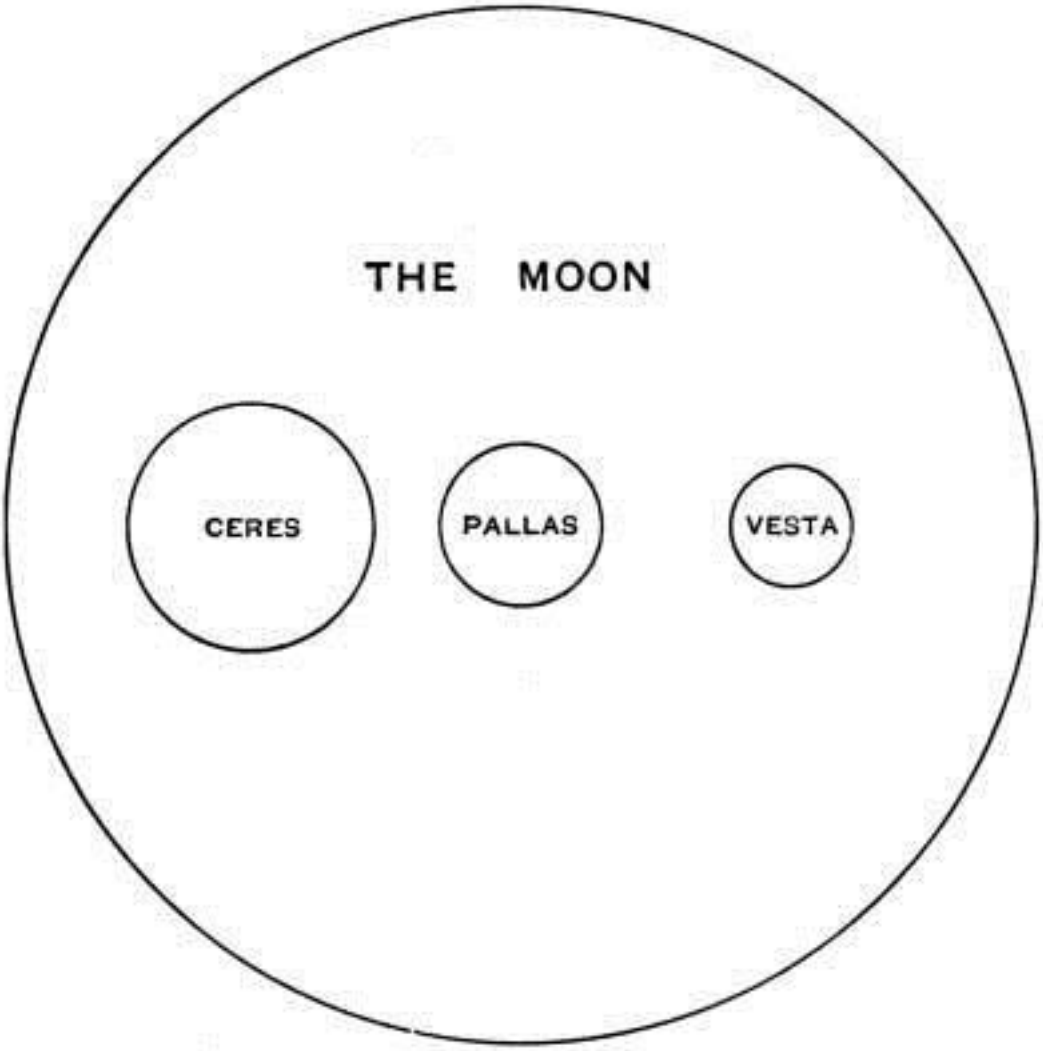


Рис. 90.Сравнительные размеры трех малых планет и луны.

Леверье вычислил по возмущениям Марса, что общая масса всех известных или неизвестных тел между Марсом и Юпитером не может превышать четверти массы Земли; но те сведения о размерах, которые мы можем получить из наблюдений за освещением, по-видимому, указывают на то, что общая масса известных в настоящее время тел во много сотен раз меньше этого предела.

295. Нептун и малые планеты - единственные планеты, открытые за это столетие, но к нашей системе добавилось несколько спутников.

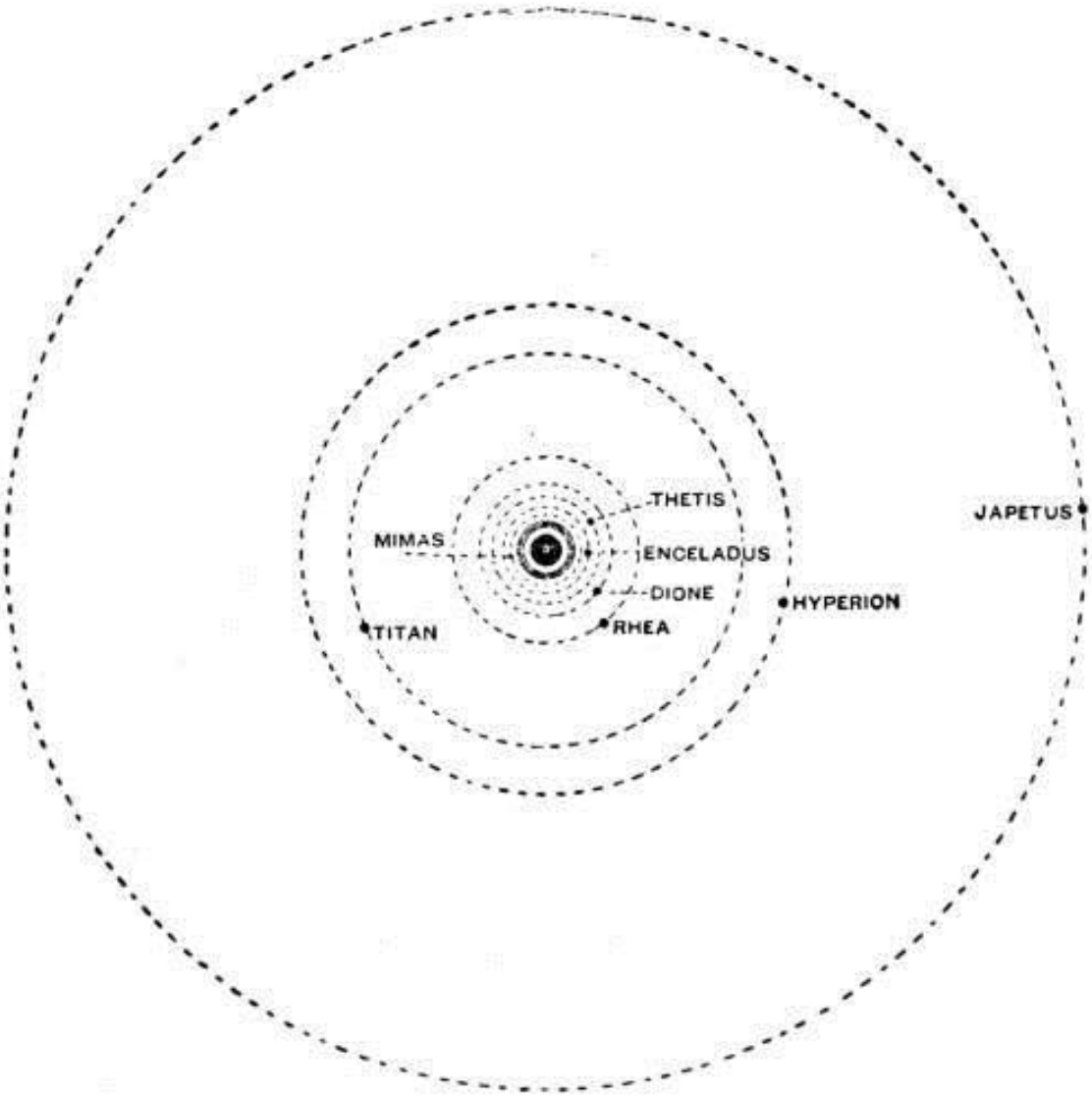


Рис. 91.—Сатурн и его система.

Всего через две недели после открытия Нептуна (1846) *Уильям Лассел* (1799-1880) обнаружил спутник в Ливерпуле. Подобно спутникам Урана, этот объект вращается вокруг своей звезды с востока на запад, то есть в направлении, противоположном направлению всех других известных движений Солнечной системы (некоторые долгопериодические кометы не учитываются).

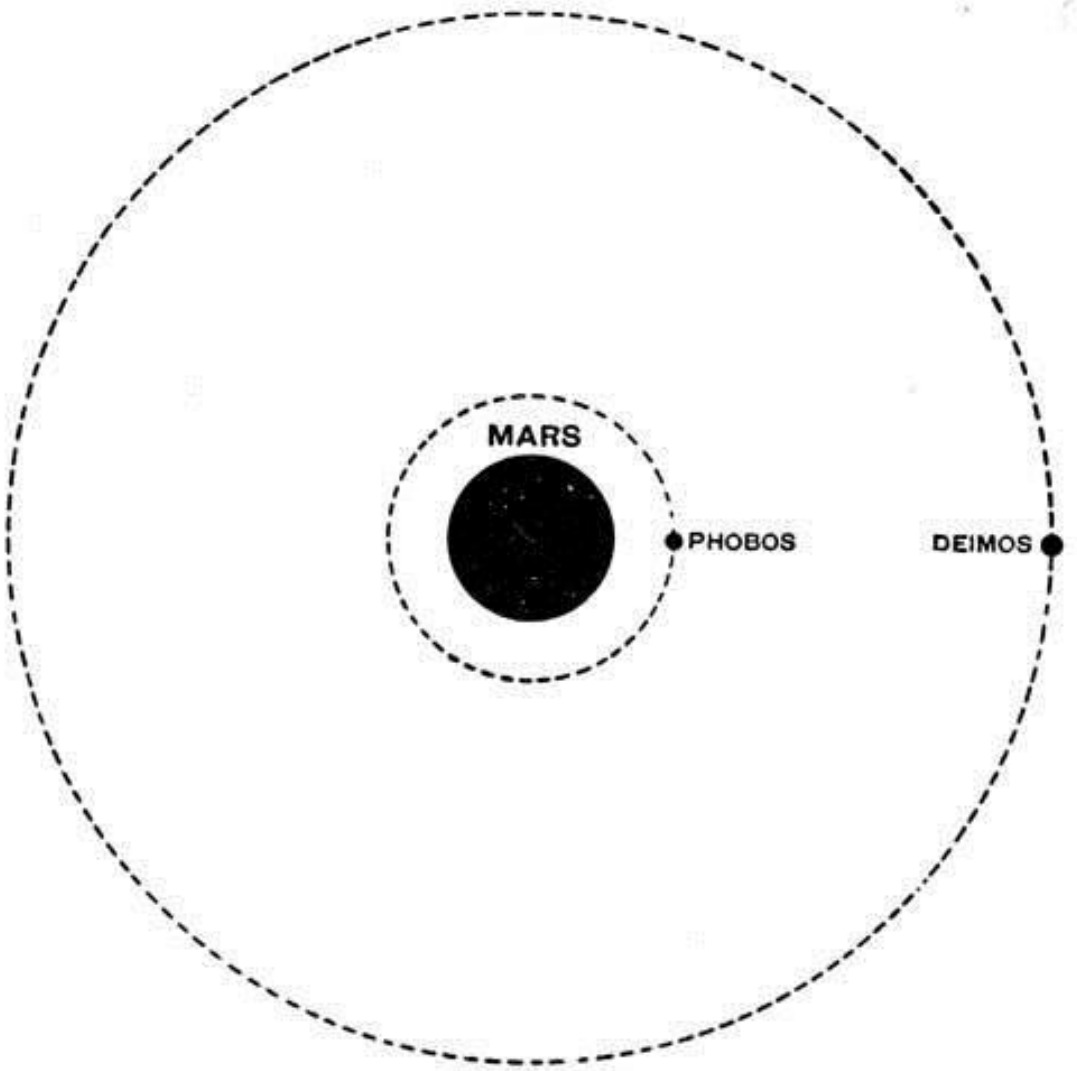


Рис. 92.—Марс и его спутники.

Два года спустя (16 сентября 1848 г.) *Уильям Крэнч Бонд* (1789-1859) открыл в обсерватории Гарвардского колледжа восьмой спутник Сатурна под названием *Гиперион*, который был независимо обнаружен Ласселлом два дня спустя. В следующем году Бонд обнаружил, что Сатурн сопровождается третьим сравнительно темным кольцом, которое сейчас широко известно как**креповое кольцо**, лежащее непосредственно внутри ярких колец (см. рис. 95); а открытие было сделано независимо две недели спустя *Уильямом Раттером Доузом* (1799-1868) в Англии. Ласселл открыл в 1851 году два новых спутника Урана, итого четыре, принадлежащих этой планете. Следующими открытиями были два спутника Марса, известные как *Деймос* и *Фобос*, сделанные профессором *Асафом Холлом* из Вашингтона 11 и 17 августа 1877 года. Они примечательны главным образом своей непосредственной близостью к Марсу и своим чрезвычайно быстрым движением, ближайший из них вращается быстрее, чем вращается Марс, так что для марсиан он должен восходить на западе и заходить на востоке. Наконец, система Юпитера была дополнена спустя почти три столетия открытием профессором Барнардом в обсерватории Лик (9 сентября 1892 г.) чрезвычайно слабого пятого спутника, намного более близкого к Юпитеру, чем ближайший из спутников Галилея (глава VI., § 121).

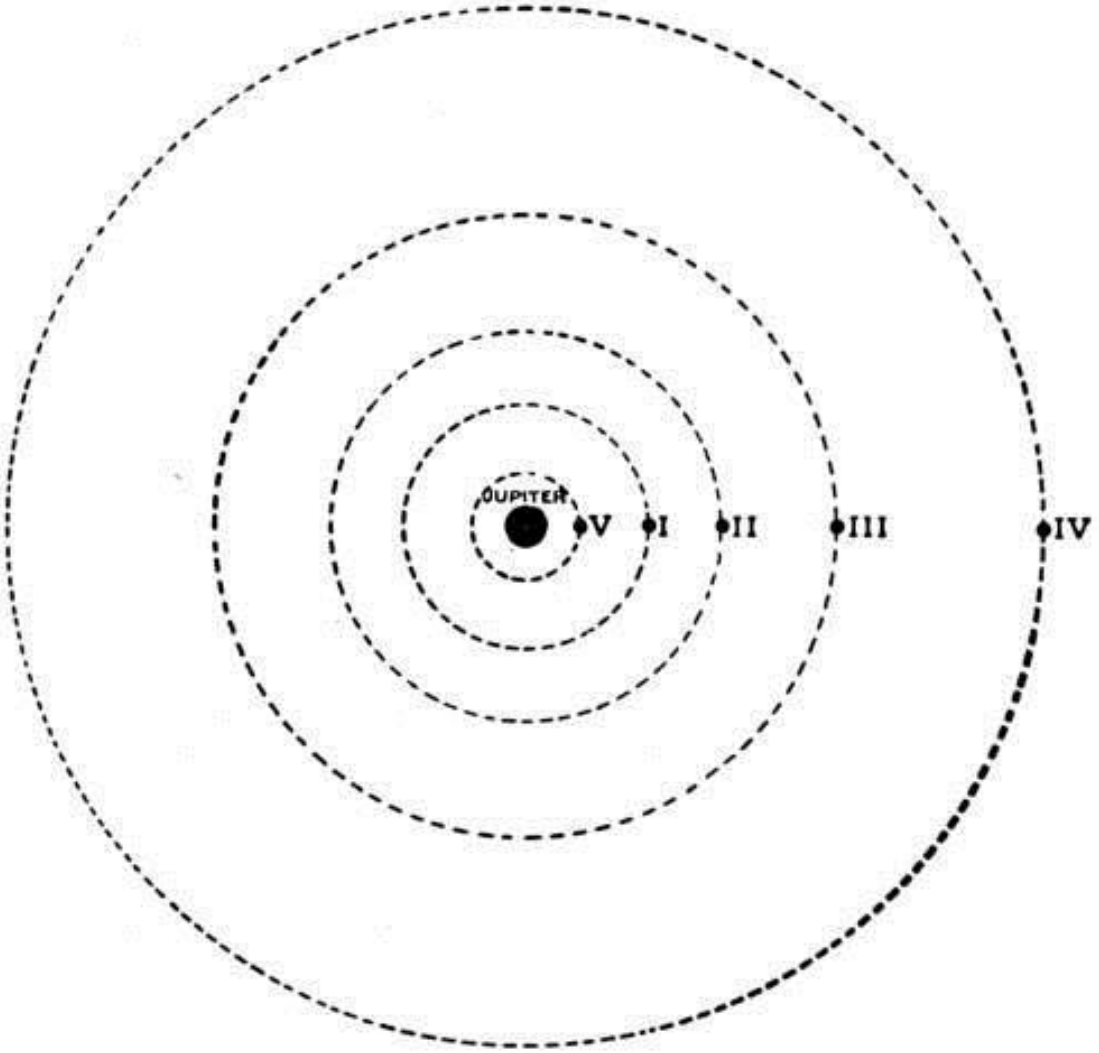


Рис. 93.—Юпитер и его спутники.

296. За поверхностями различных планет и спутников с особой тщательностью наблюдала армия наблюдателей, но наблюдения в значительной степени остались без удовлетворительной интерпретации, и мало что известно о структуре или физическом состоянии соответствующих тел.

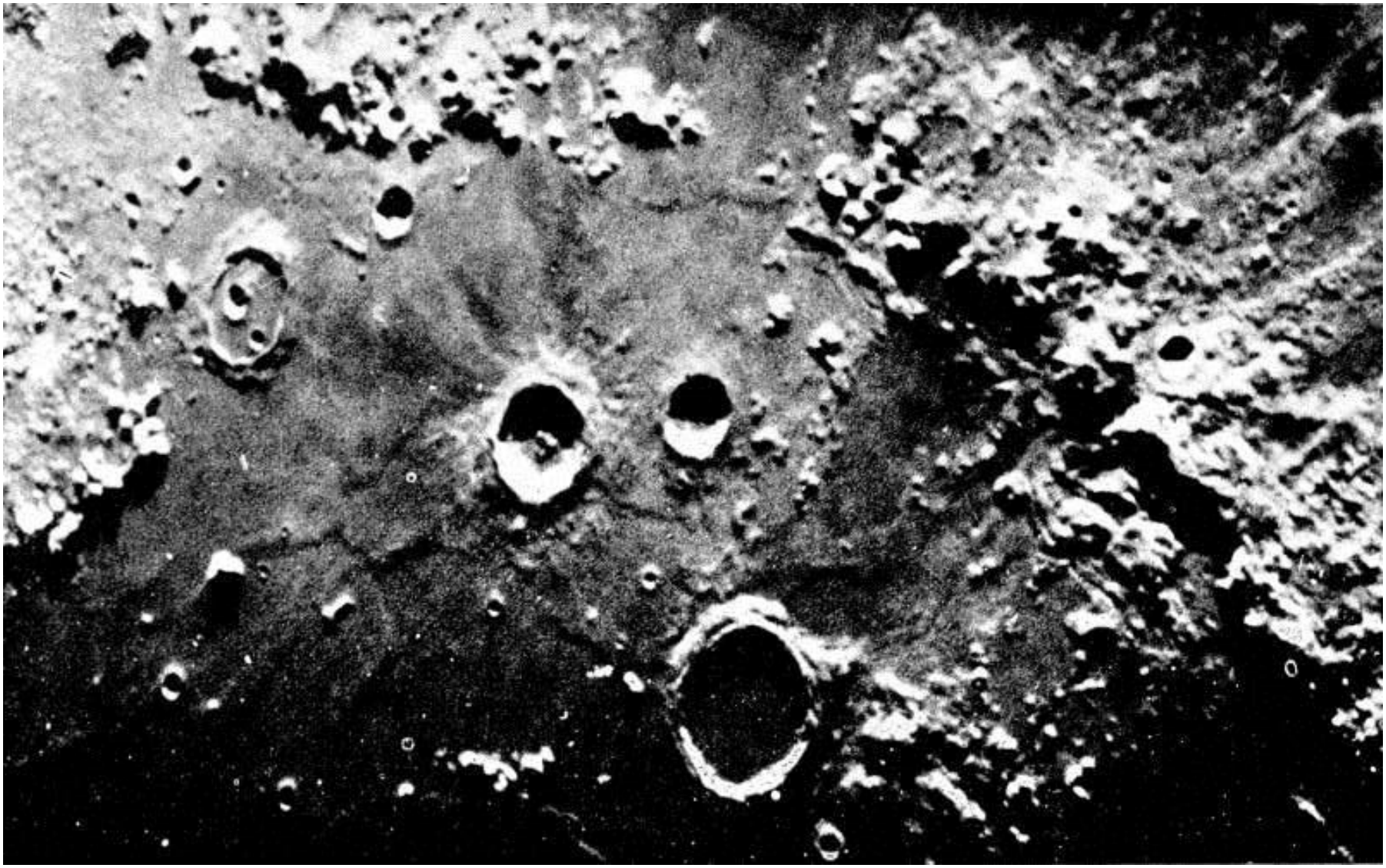


Рис. 94.— Апеннины и прилегающие области Луны. С фотографии, сделанной в Парижской обсерватории.

[*Лицом к лицу, стр. 383.*

Астрономы, естественно, лучше всего знакомы с поверхностью нашей ближайшей соседки, Луны. Видимая половина была тщательно нанесена на карту, а высоты основных горных хребтов измерены с помощью их теней. Современные знания многое сделали для того, чтобы развеять мнение, которого придерживались более ранние телескописты и которое в какой-то степени разделял даже Гершель, о том, что Луна очень похожа на Землю и подходит для таких обитателей, как мы. Темные пространства, которые когда—то считались морями и до сих пор носят это название, очевидно, покрыты сухой породой; а кратеры, которыми покрыта Луна, все — за одним или двумя сомнительными исключениями - исчезли; в длинных темных линиях, известных как **ручейки**, которые раньше принимали за русла рек, воды явно нет. Вопрос о лунной атмосфере сложнее: если там есть воздух, его плотность должна быть очень маленькой, в несколько сотен раз меньше плотности нашей атмосферы на поверхности земли; но с учетом этого ограничения, по-видимому, нет никаких препятствий для существования лунной атмосферы значительной протяженности, и трудно объяснить определенные наблюдения, не предполагая существования какой-либо атмосферы.

297. Марс, будучи ближайшей из высших планет, наиболее благоприятно расположен для наблюдения. Основные отметины на его поверхности, которые предварительно интерпретируются как обозначающие сушу и воду, довольно постоянны и поэтому узнаваемы; было составлено несколько сносно согласованных карт поверхности; и путем наблюдения за некоторыми поразительными особенностями период вращения был определен с точностью до доли секунды. Синьор*Скиапарелли* из Милана обнаружил во время противостояния 1877 года ряд пересекающихся темных линий, обычно известных как **каналы**, и в результате наблюдений, сделанных во время противостояния 1881-82 годов, объявил, что некоторые из них кажутся раздвоенными, вместо одной видны две почти параллельные линии. Эти замечательные наблюдения были в значительной степени подтверждены другими наблюдателями, но остаются необъясненными.

Видимые поверхности Юпитера и Сатурна кажутся слоями облаков; низкая плотность каждой планеты (1 · 3 и · 7 соответственно, плотность воды равна 1, а земли 5 · 5), быстрые изменения на поверхности и другие факты указывают на то, что эти планеты в значительной степени находятся в жидком состоянии и имеют высокую температуру на очень умеренном расстоянии ниже видимой поверхности. Разметка поверхности в каждом случае достаточно четкая, чтобы периоды вращения были установлены с некоторой точностью; хотя в случае с Юпитером и, вероятно, также с Сатурном ясно, что — как и в случае с солнцем (§ 298) — разные части поверхности движутся с разной скоростью.

Лаплас показал, что кольцо (или кольца) Сатурна не могло быть, как казалось, однородным твердым телом; он опрометчиво предположил — без какого—либо полного исследования, - что это могло быть твердое тело с неправильным весом. Первый важный шаг был сделан*Джеймсом Клерком Максвеллом* (1831-1879), наиболее известным как писатель по электричеству и другим разделам физики. Максвелл показал (1857), что кольца не могут быть ни сплошными твердыми телами, ни жидкостью, но что все важные динамические условия были бы выполнены, если бы они состояли из очень большого количества маленьких твердых тел, независимо вращающихся

вокруг Солнца.167 Теория, предложенная таким образом на математической основе, получила значительную поддержку благодаря телескопическим данным. Кольца, таким образом, имеют к Сатурну отношение, имеющее некоторую аналогию с тем, которое малые планеты имеют к солнцу; и Кирквуд указал в 1867 году, что разделение Кассини между двумя главными кольцами может быть объяснено возмущениями, вызванными некоторыми спутниками, точно так же, как соответствующие промежутки на малых планетах могут быть объяснены действием Юпитера (§ 294).

Большое расстояние от Урана и Нептуна, естественно, затрудняет их изучение, и почти ничего не известно о внешнем виде или строении обоих; периоды их вращения совершенно неизвестны.

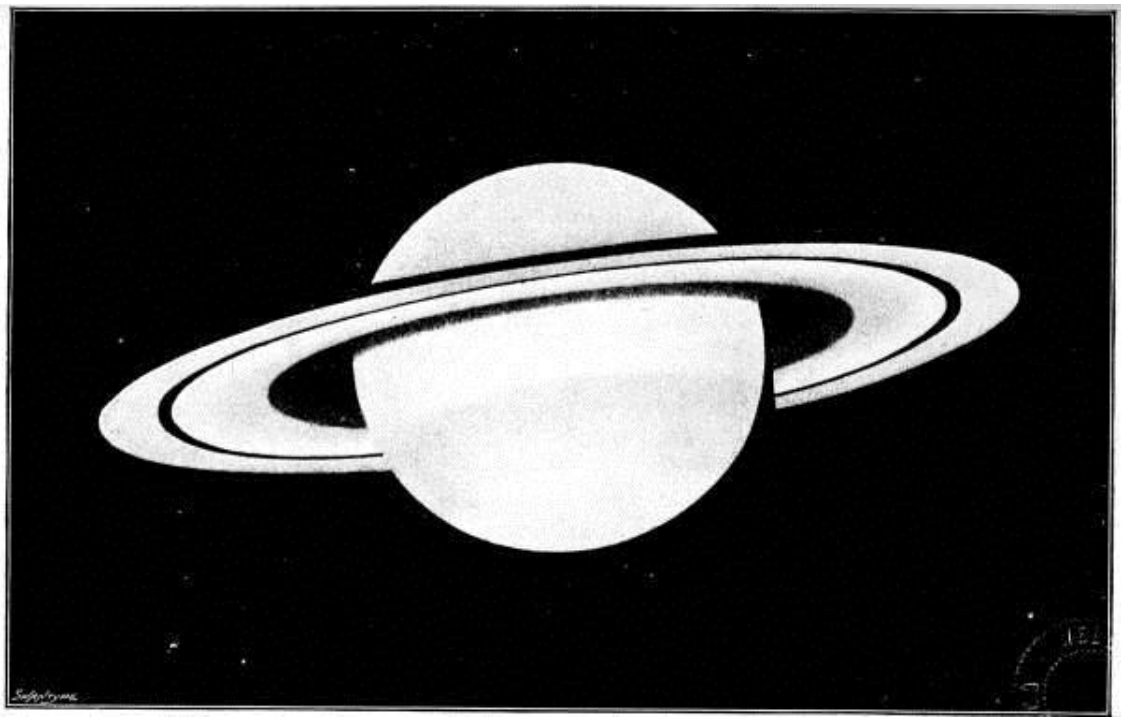


Рис. 95.—Сатурн и его кольца. С рисунка профессора Барнарда.

[*Лицом к лицу, стр. 384.*

Меркурий и Венера, будучи низшими планетами, никогда не находятся на небе очень далеко от солнца, и поэтому их также чрезвычайно трудно наблюдать удовлетворительным образом. Были зафиксированы различные яркие и темные отметины на их поверхностях, но разные наблюдатели дают о них совершенно разные оценки. Периоды вращения также очень неопределенны, хотя многие астрономы поддерживают точку зрения, выдвинутую Sig. Скиапарелли в 1882 и 1890 годах для Меркурия и Венеры соответственно, что каждый из них вращается за время, равное его периоду обращения вокруг Солнца, и, таким образом, всегда обращен к солнцу одной и той же стороной. Такое движение, аналогичное движению Луны вокруг земли и Япета вокруг Сатурна (глава XII, § 267), можно легко объяснить как результат действия приливов в какое—то прошлое время, когда планеты были в значительной степени текучими.

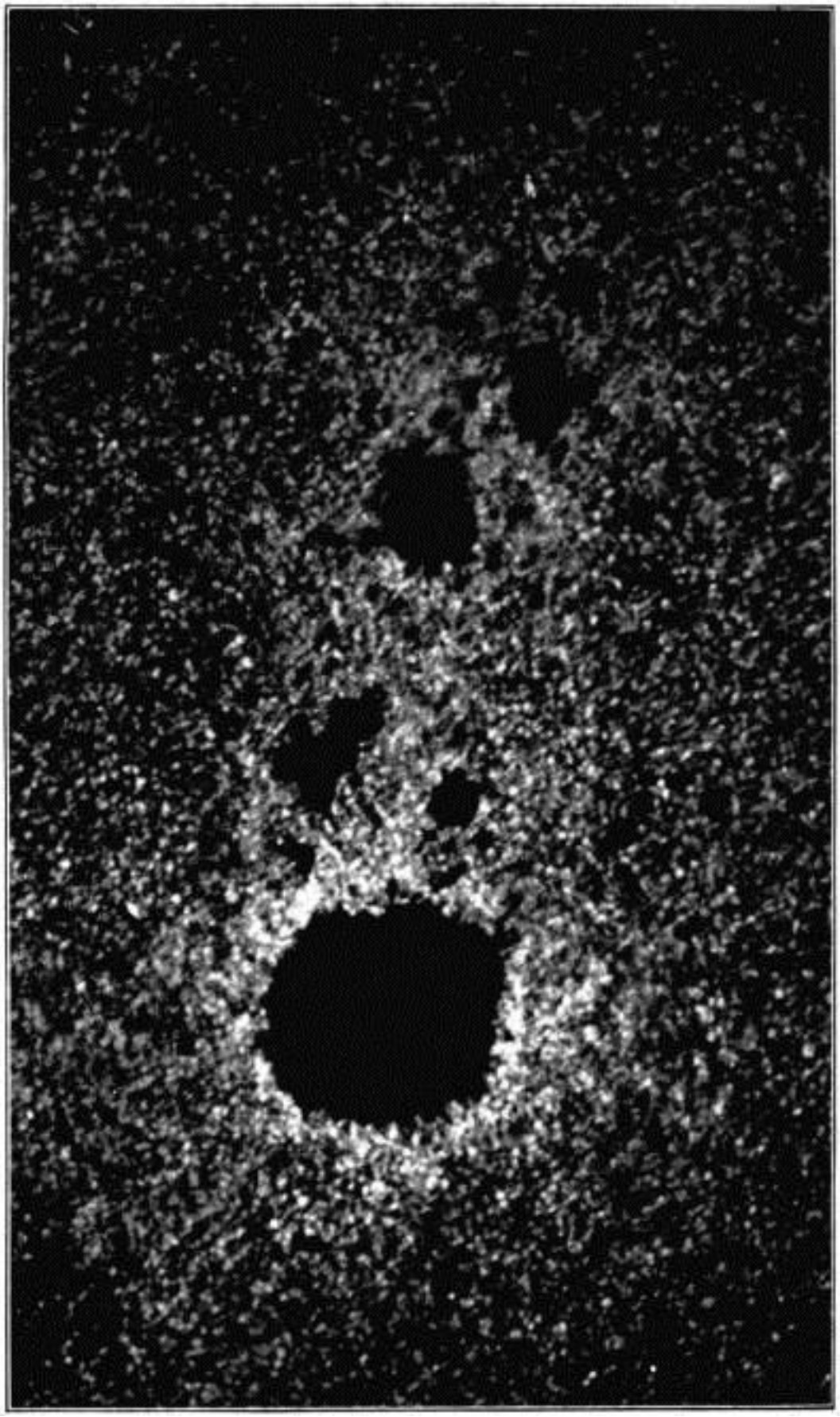


Рис. 96. - Группа солнечных пятен. С фотографии, сделанной М. Янссеном в Медоне 1 апреля 1894 года.

[*Лицом к лицу, стр. 385.*

298. Телескопическое изучение поверхности Солнца в течение столетия привело к огромному накоплению подробных знаний об особенностях различных отметин на поверхности. Наиболее интересные результаты общего характера связаны с распределением и периодичностью солнечных пятен. Первые телескописты заметили, что количество видимых пятен на солнце меняется время от времени, но закон изменения не был установлен до 1851 года, когда *Генрих Швабе* из Дессау (1789-1875) опубликовал в "*Космосе*" Гумбольдта результаты наблюдений солнечных пятен, проведенных в течение предыдущей четверти века, показав, что количество видимых пятен увеличивалось и уменьшалось с достаточной регулярностью в течение примерно десяти лет.

Более ранние записи и более поздние наблюдения подтвердили общий результат, и в настоящее время этот период оценивается в среднем чуть более чем в 11 лет, хотя и подвержен значительным колебаниям. Годом позже (1852) три независимых исследователя, сэр*Эдвард Сэбин* (1788-1883) в Англии, *Рудольф Вольф* (1816-1893) и *Альфред Готье* (1793-1881) в Швейцарии, обратили внимание на замечательное сходство между периодическими изменениями солнечных пятен и различными магнитными возмущениями на земле. Мало того, что период один и тот же, но почти неизменно случается, что когда пятен на солнце больше всего, магнитные возмущения наиболее заметны на земле, и что аналогичным образом периоды редкости двух наборов явлений совпадают. Эта совершенно неожиданная и до сих пор совершенно необъяснимая взаимосвязь была подтверждена несколькими явными магнитными возмущениями, происходившими одновременно с быстрыми изменениями на поверхности Солнца.

Длинная серия наблюдений за положением пятен на солнце, предпринятая *Ричардом Кристофером Кэррингтоном* (1826-1875), привела к первому четкому осознанию разницы в скорости вращения различных частей поверхности Солнца: период вращения был зафиксирован (1859) примерно в 25 дней на экваторе и на два с половиной дня дольше на полпути между экватором и полюсами; в то время как кроме того, было замечено, что пятна также имеют независимые “собственные движения”. Кэррингтон также установил (1858) редкость пятен в непосредственной близости от экватора и статистически подтвердил их распространенность в прилегающих регионах и их большую редкость более чем на 35 ° от экватора; и заметил далее определенные регулярные изменения в распределении пятен на солнце в течение 11-летнего цикла.

Теория Уилсона (глава XII, § 268) о том, что пятна представляют собой впадины, была подтверждена обширной серией фотографий, сделанных в Кью в 1858-72 годах, демонстрирующих значительное преобладание случаев замеченного им эффекта перспективы; но, с другой стороны, мистер*Ф. Хаулетт*, который наблюдал за солнцем около 35 лет и сделал несколько тысяч рисунков пятен, считает (1894), что его наблюдения решительно противоречат теории Уилсона. Другие наблюдатели разделились во мнениях.

299. **Спектральный анализ**, который сыграл такую важную роль в недавних астрономических работах, по сути, представляет собой метод установления природы тела посредством процесса просеивания или анализа на различные компоненты получаемого от него света.

Впервые было четко установлено Ньютоном в 1665-66 годах (глава IX, § 168), что обычный белый свет, такой как солнечный свет, является составным, и что, пропуская луч солнечного света — с надлежащими предосторожностями — через стеклянную призму, его можно разложить на свет разных цветов; если луч, разложенный таким образом, попадает на экран, он создает цветовую полосу, известную как**спектр**, причем красный находится на одном конце, а фиолетовый - на другом.

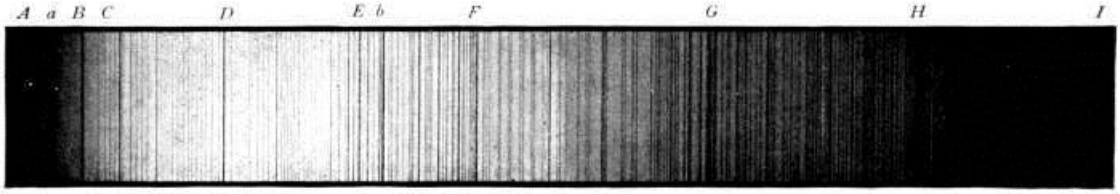


Рис. 97. Карта солнечного спектра Фраунгофера. (Красный конец спектра находится слева, фиолетовый - справа.)

[*Лицом к лицу, стр. 387.*

Теперь, согласно современным теориям, свет состоит, по существу, из серии возмущений или волн, передаваемых с чрезвычайно короткими, но регулярными интервалами от светящегося объекта к глазу, причем среда, через которую распространяются возмущения, называется **эфиром**. Наиболее важной характеристикой, отличающей различные виды света, является интервал времени или пространства между одной волной и следующей, который обычно выражается посредством **длины волны**, или расстояния между любой точкой одной волны и соответствующей точкой следующей. Различия в длине волны легче всего проявляются как различия в цвете; таким образом, свет определенного цвета, обнаруживаемый в определенной части спектра, имеет определенную длину волны. Например, на крайнем фиолетовом конце спектра длина волны составляет около пятнадцати миллионных долей дюйма, на красном конце она примерно вдвое больше; из чего следует (§ 283), исходя из известной скорости света, что, когда мы смотрим на красный конец спектра, в глаз попадает около 400 миллиардов световых волн в секунду, и вдвое больше, когда мы смотрим на другой конец. Таким образом, эксперимент Ньютона показывает, что призма сортирует свет сложной природы в соответствии с длиной волны различных видов присутствующего света. То же самое можно сделать, заменив призму так называемой**дифракционной решеткой**, и это для многих целей заменяет призму. Как правило, необходимо обеспечить чистоту спектра и сделать его достаточно большим, пропускать свет через узкую щель и использовать определенные линзы в сочетании с одной или несколькими призмами или решеткой; и расположение таково, что спектр не отбрасывается на экран, а либо просматривается непосредственно глазом, либо фотографируется. Весь этот прибор известен как**спектроскоп**.

Солнечный спектр представлялся Ньютону непрерывной полосой цветов; но в 1802 году *Уильям Хайд Волластон* (1766-1828) заметил определенные темные линии, пересекающие спектр, которые он принял за границы естественных цветов. Несколькими годами позже (1814-15) великий мюнхенский оптик *Йозеф Фраунгофер* (1787-1826) гораздо тщательнее исследовал

спектр солнца и обнаружил около 600 таких темных линий, положения 324 из которых он нанес на карту (см. рис. 97). Эти темные линии, соответственно, известны как **линии Фраунгофера**: в целях идентификации Фраунгофер прикрепил определенные буквы алфавита к нескольким наиболее заметным; остальные теперь обычно известны по длине волны соответствующего вида света.

Также постепенно было обнаружено, что темные полосы в спектрах могут создаваться искусственно путем пропускания света через различные окрашенные вещества; и что, с другой стороны, спектры некоторых видов пламени пересекаются различными*яркими* линиями.

Было предпринято несколько попыток объяснить и связать эти различные наблюдения, но первое удовлетворительное и сносно полное объяснение было дано в 1859 году *Густавом Робертом Кирхгофом* (1824-1887) из Гейдельберга, который сначала работал в сотрудничестве с химиком Бунзеном.

Кирхгоф показал, что светящееся твердое тело или жидкость — или, как мы теперь знаем, сильно сжатый газ — дает непрерывный спектр; тогда как вещество в газообразном состоянии дает спектр, состоящий из ярких линий (со слабым непрерывным спектром или без него), и эти яркие линии зависят от конкретного вещества и являются его характеристикой. Следовательно, о присутствии определенного вещества в виде газа в горячем теле можно сделать вывод по наличию его характерных линий в спектре света.*Темные* линии в солнечном спектре объяснялись фундаментальным принципом, часто известным как закон Кирхгофа, согласно которому способность тела останавливать или поглощать свет определенной длины волны пропорциональна его способности при аналогичных условиях излучать тот же свет. Если, в частности, свет от светящегося твердого или жидкого тела, дающего непрерывный спектр, проходит через газ, газ поглощает свет той же длины волны, что и тот, который он сам излучает: если газ излучает больше света этих конкретных длин волн, чем поглощает, то спектр пересекают соответствующие яркие линии; но если он поглощает больше, чем излучает, то возникает дефицит света этих длин волн, и соответствующие части спектра кажутся темными, то есть спектр пересекают темные линии в том же положении, что и яркие линии в спектре газа. один. Поглощает ли газ больше или меньше, чем выделяет, по сути, вопрос температуры, так что, если свет от горячего твердого вещества или жидкости проходит через газ с более высокой температурой, результатом является спектр, пересеченный яркими линиями, тогда как если газ холоднее, чем тело за ним, в спектре видны темные линии.

300. Присутствие линий Фраунгофера в спектре солнца показывает, что солнечный свет исходит от горячего твердого или жидкого тела (или от сильно сжатого газа) и что он прошел через более холодные газы, которые поглотили свет с длинами волн, соответствующими темным линиям. Эти газы должны находиться либо вокруг Солнца, либо в нашей атмосфере: и нетрудно показать, что, хотя некоторые линии Фраунгофера обусловлены нашей атмосферой, большинство не могут быть такими и, следовательно, вызваны газами в атмосфере Солнца.

Например, металлический натрий при испарении дает спектр, характеризующийся двумя почти совпадающими яркими линиями в желтой части спектра; они совпадают по положению с парой темных линий (известных как D) в спектре солнца (см. рис. 97); следовательно, Кирхгоф сделал вывод, что атмосфера солнца содержит натрий. Сравнивая темные линии в спектре солнца с яркими линиями в спектрах металлов и других веществ, можно соответственно установить их присутствие или отсутствие в солнечной атмосфере. В случае железа— которое имеет

чрезвычайно сложный спектр, Кирхгофу удалось идентифицировать 60 линий (с тех пор их количество увеличилось до более чем 2000) в его спектре с темными линиями в спектре солнца. Около полудюжины других известных элементов также были идентифицированы Кирхгофом на солнце.

Начатое таким образом расследование солнечной химии с тех пор ведется с большим рвением. Усовершенствованные методы и повышенная тщательность привели к составлению серии картсолнечного спектра, начиная с собственных карт Кирхгофа, опубликованных в 1861-62 годах, сложность и точность которых постоянно возрастали. Знания о спектрах металлов также были значительно расширены. В настоящее время на солнце обнаружено от 30 до 40 элементов, наиболее интересными из которых, помимо уже упомянутых, являются водород, кальций, магний и углерод.

Первая спектроскопическая работа по Солнцу касалась только света, получаемого от солнца в целом, но вскоре было замечено, что, поместив изображение солнца в щель спектроскопа с помощью телескопа, можно получить спектр определенной части поверхности Солнца, такой как пятно или факула; и было сделано огромное количество наблюдений такого характера.

301. Наблюдения за полными солнечными затмениями показали, что яркая поверхность солнца, какой мы ее обычно видим, не является целостной, но что за ее пределами имеется какая-то оболочка, слишком слабая, чтобы быть видимой обычно, но становящаяся видимой, когда интенсивный свет самого солнца перекрывается луной. Белое гало значительной протяженности вокруг находящегося в состоянии затмения солнца, ныне называемое**короной**, упоминается Плутархом и обсуждается Кеплером (глава VII., § 145). Несколько астрономов 18 века заметили красную полосу вдоль некоторой части общего края солнца и Луны, а также красные пятна или облака здесь и там (ср. глава X., § 205). Но этому вопросу уделялось мало серьезного внимания до полного солнечного затмения 1842 года. Наблюдения, сделанные тогда и во время двух последующих затмений 1851 и 1860 годов, в последнем из которых впервые эффективно использовалась фотография, сделали очевидным, что красная полоса представляла собой некую непрерывную оболочку, окружающую солнце, которой было дано название**хромосфера**, и что красные объекты, обычно известные как **протуберанцы**, в целом были выступающими частями хромосферы, хотя иногда и отделялись от нее. Во время затмения 1868 года был получен спектр протуберанцев и хромосферы, который представлял собой одну из ярких линий, свидетельствующих о том, что они состояли из газа. Сразу после этого М.*Янссен*, который был одним из наблюдателей затмения, и сэр *Дж. Норман Локьер* независимо разработали метод, с помощью которого стало возможным получить спектр выступа на краю солнечного диска при обычном дневном свете, не дожидаясь затмения; а модификация, внесенная сэром *Уильямом Хаггинсом* в следующем году (1869), позволила наблюдать форму выступа спектроскопически. Недавно (1892 г.) профессору *Г. Э. Хейлу* из Чикаго удалось с помощью фотографического процесса получить изображение всей хромосферы и протуберанцев, в то время как тот же метод дает также фотографии факелов (глава VIII, § 153) на видимой поверхности Солнца.

Наиболее важными линиями, обычно присутствующими в спектре хромосферы, являются линии водорода, две линии (H и K), которые с некоторым трудом были идентифицированы как принадлежащие кальцию, и желтая линия, образующая вещество, известное как**гелий**, только

недавно (1895 г.) было обнаружено на земле. Но хромосфера при возмущении и многие протуберанцы дают спектры, содержащие ряд других линий.

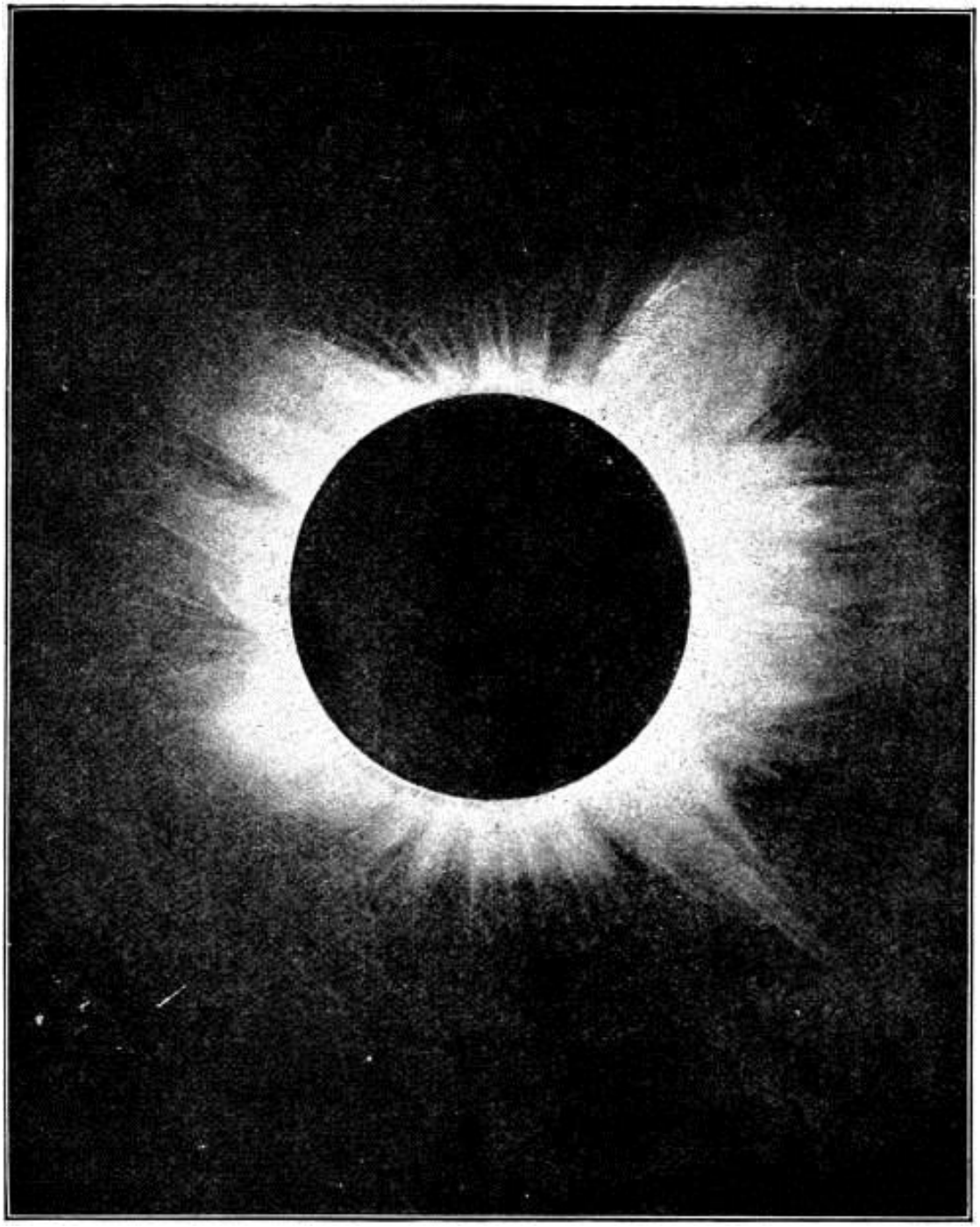


Рис. 98. Полное солнечное затмение 29 августа 1886 г. По рисунку, основанному на фотографиях доктора Шустера и мистера Маундера.

[*Лицом к лицу, стр. 390.*

Корона в течение некоторого времени рассматривалась как оптическая иллюзия, возникающая в атмосфере. То, что это, во всяком случае, в значительной степени, фактический придаток Солнца, было впервые установлено в 1869 году американскими астрономами профессором

Харкнессом и профессором *К. А. Янгом*, которые обнаружили яркую линию — неизвестного происхождения168— в его спектре, показав таким образом,что оно частично состоит из светящегося газа. Последующая спектроскопическая работа показывает, что его свет частично является отраженным солнечным светом.

Корона тщательно изучалась при каждом солнечном затмении в течение последних 30 лет как с помощью спектроскопа, так и телескопа, дополненного фотографией, и был предложен ряд остроумных теорий ее строения; но наши нынешние знания о ее природе едва ли выходят за рамки описания профессором Янгом ее как “невообразимо ослабленного облака газа, тумана и пыли, окружающего солнце, сформированного солнечными силами”.

302. Спектроскоп также дает информацию об определенных движениях, происходящих на солнце. В 1842 году *Кристиан Доплер* (1803-1853) указал, хотя и несовершенным и частично ошибочным образом, что, если светящееся тело приближается к наблюдателю или *наоборот*, волны света как бы сгущаются и достигают глаза через более короткие промежутки времени, чем если бы тело находилось в состоянии покоя, и что характер света, таким образом, изменяется. Цвет и положение в спектре зависят от интервала между одной волной и следующей, так что, если тело, излучающее свет определенной длины волны,*например* синий свет, соответствующий F-линии водорода, быстро приближается к наблюдателю, линия в спектре слегка отклоняется с одной стороны от своего обычного положения, смещаясь к фиолетовому концу спектра; тогда как если тело удаляется, линия таким же образом смещается в противоположном направлении. Этот результат обычно известен как **принцип Доплера**. Полученный эффект можно легко выразить численно. Если, например, тело приближается со скоростью, равной 1/1 000 световой, то в глаз или спектроскоп попадает 1001 волна за то же время, за которое в противном случае было бы только 1000; и, как следствие, происходит фактическое сокращение длины волны в соотношении 1001 к 1000. Таким образом, если обнаружено, что линия в спектре тела смещена от своего обычного положения таким образом, что длина его волны, по-видимому, уменьшается на 1/1000 часть, можно сделать вывод, что тело приближается с только что названной скоростью, или примерно на 186 миль в секунду, и если длина волны кажется увеличенной на ту же величину (линия смещена к красному концу спектра), тело удаляется с той же скоростью.

Некоторые из самых ранних наблюдений протуберанцев сэром Дж. Н. Локьером (1868), а также пятен и других особенностей Солнца, сделанных тем же самым и другими наблюдателями, показали смещения и искажения линий в спектре, которые, как вскоре выяснилось, можно интерпретировать с помощью этого метода, и указали на существование сильных возмущений в атмосфере Солнца, причем небезызвестны скорости до 300 миль в секунду. Метод получил интересное подтверждение в результате наблюдений за спектром противоположных краев солнечного диска, один из которых приближается, а другой удаляется из-за вращения солнца. Профессор *Дюнер* из Упсалы с помощью этого процесса установил (1887-89) скорость вращения поверхности Солнца за пределами областей, где существуют пятна, и, следовательно, за пределами таких наблюдений, как наблюдения Кэррингтона (§ 298).

303. Спектроскоп сообщает нам, что атмосфера Солнца содержит железо и другие металлы в виде паров; а фотосфера, которая дает непрерывную часть солнечного спектра, безусловно, более горячая. Более того, все, что мы знаем о способе передачи тепла от одной части тела к другой, показывает, что внешние области солнца, от которых тепло и свет излучаются в очень

больших масштабах, должны быть самыми прохладными частями, и что температура, по всей вероятности, очень быстро повышается по направлению к внутренней части. Эти факты,вкупе с низкой плотностью Солнца (примерно вчетверо меньшей, чем у Земли) и сильно нарушенным состоянием поверхности, указывают на то, что основная часть внутренних частей Солнца представляет собой чрезвычайно горячую и сильно сжатую массу газа. За пределами этого все происходит по порядку, их соответствующие границы и взаимоотношения, однако, очень неопределенны: сначала фотосфера, обычно рассматриваемая как облачный слой, затем**обратный слой**, который производит большую часть линий Фраунгофера, затем хромосфера и протуберанцы и, наконец, корона. Солнечные пятна, факелы и протуберанцы объяснялись множеством различных способов как совместные результаты солнечных возмущений различного рода; но ни одна из приведенных подробных теорий не объясняет удовлетворительно более чем часть наблюдаемых фактов и не вызывает более чем ограниченного согласия среди астрономических экспертов.

Рис. 99.— Большая комета 1882 года (ii) 7 ноября. С фотографии доктора Гилла.

[*Лицом к лицу, стр. 393.*

304. За нынешнее столетие было замечено более 200 комет; были не только прослежены движения большинства из них и вычислены их орбиты (§ 291), но и в большом количестве случаев внешний вид и структура кометы были тщательно изучены в телескоп, а в последнее время также использовались спектральный анализ и фотосъемка.

Независимые исследования указывают на крайне несущественный характер кометы, за возможным исключением яркой центральной части или**ядра**, которое присутствует почти всегда. Неоднократно, как, например, в 1767 году (глава XI, § 248), комета проходила вблизи

какого-либо элемента солнечной системы, и никогда не было установлено, что она повлияла на ее движение. Следовательно, масса кометы очень мала, но, с другой стороны, ее масса, или объем, в целом очень велик, хвост часто достигает миллионов миль в длину; так что плотность должна быть чрезвычайно мала. Опять же,звезды часто наблюдались просвечивающими сквозь хвост кометы (как показано на рис. 99), и даже через головку на небольшом расстоянии от ядра, при этом их яркость изменяется лишь незначительно, если вообще изменяется. По крайней мере дважды (1819, 1861) земля проходила через хвост кометы, но это так мало повлияло на нас, что этот факт был обнаружен только благодаря расчетам, сделанным после события. Раннее наблюдение (глава III, § 69) о том, что хвост кометы направлен в сторону от солнца, было полностью подтверждено; и из этого следует, что в некоторых случаях должны происходить очень быстрые изменения положения хвоста. Например, комета 1843 года прошла очень близко к солнцу с такой скоростью, что примерно за два часа переместилась с одной стороны солнца на противоположную; тогда она была слишком близко к солнцу, чтобы ее можно было увидеть, но если она следовала обычному закону, то ее хвост, который был необычно длинным, должен был полностью изменить свое направление за это короткое время. Трудно избежать вывода о том, что хвост не является постоянной частью кометы, а представляет собой поток вещества, каким-то образом отводимый от нее под действием солнца и в этом отношении сравнимый с дымом, выходящим из трубы. Эта точка зрения подтверждается тем фактом, что хвост образуется только тогда, когда комета приближается к Солнцу, а на большом расстоянии от солнца комета обычно появляется в виде расплывчатого пятна туманного света, с возможно более ярким пятном, представляющим ядро. Опять же, если хвост образован выбросом вещества из кометы, что имеет место только тогда, когда комета находится вблизи солнца, то чем чаще комета приближается к солнцу, тем больше она должна растрачивать; и мы находим соответственно, что короткопериодические кометы, которые возвращаются в окрестности солнца через частые промежутки времени (§ 291), являются незаметными телами. Ту же теорию подтверждает и форма хвоста. В некоторых случаях она прямая, но чаще всего она до некоторой степени изогнута, и в этом случае кривизна всегда *назад* по отношению к движению кометы. Теперь, согласно обычным динамическим принципам, вещество, вылетевшее из головы кометы, когда она вращается вокруг солнца, имело бы тенденцию, так сказать, отставать все больше и больше по мере удаления от головы, и результатом было бы очевидное обратное искривление хвоста — меньшее или большее в зависимости от скорости, с которой отталкивались частицы, образующие хвост. Различия в кривизне хвостов разных комет и существование двух или более хвостов одной и той же кометы с разной кривизной, таким образом, легко объясняются предположением, что они сделаны из разных материалов, которые отталкиваются от головы кометы с разной скоростью.

Первое применение спектроскопа для изучения комет было сделано в 1864 году *Джамбаттистой Донати* (1826-1873), наиболее известным как первооткрыватель великолепной кометы 1858 года. Был получен спектр из трех ярких полос, более широких, чем обычные “линии”, но затем они не были идентифицированы. Четыре года спустя сэр Уильям Хаггинс получил аналогичный спектр и идентифицировал его с спектром соединения углерода и водорода. Почти каждая комета, исследованная с тех пор, обнаруживала в своем спектре яркие полосы, указывающие на присутствие того же или какого-либо другого углеводорода, но в нескольких случаях были обнаружены и другие вещества. Таким образом, комета, по крайней мере частично, самосветящаяся, и часть света, который она нам посылает, представляет собой светящийся газ. Он также в значительной степени светится отраженным солнечным светом;

почти всегда имеет непрерывныйспектр, и в нескольких случаях — впервые в 1881 году — спектр был достаточно отчетливым, чтобы показать пересекающие его линии Фраунгофера. Но непрерывный спектр, по-видимому, также частично обусловлен твердым или жидким веществом в самой комете, которое достаточно горячее, чтобы быть самосветящимся.

305. Работы последних 30-40 лет установили замечательную связь между кометами и мельчайшими телами, которые наблюдаются в форме**метеоров** или **падающих звезд**. Однако можно упомянуть лишь несколько наиболее важных звеньев в цепочке доказательств. Было показано, что ливни падающих звезд, возникновение которых было известно с довольно ранних времен, происходят из-за прохождения Земли через рой тел, вращающихся по эллиптическим орбитам вокруг Солнца. Траектории четырех таких роев были установлены с некоторой точностью в 1866-67 годах, и было обнаружено, что в каждом случае они точно совпадают с траекториями известных комет. И с тех пор было обнаружено значительное количество других случаев сходства или идентичности траекторий метеорных роев и комет. Одна из четырех только что упомянутых комет, известная как комета Билы, с периодом от шести до семи лет, была должным образом замечена при нескольких последовательных возвращениях, но в 1845-46 годах было замечено, что сначала она приобрела несколько искаженную форму, а затем разделилась на две отдельные кометы; при следующем возвращении (1852) пара была снова замечена; но с тех пор ни одна из частей не была замечена. Каждый год в конце ноября земля почти пересекает путь этой кометы, и в двух случаях (1872 и 1885 гг.) это произошло почти в то же время, когда комета должна была появиться в том же месте; если, как казалось вероятным, комета распалась на куски с момента своего последнего появления, существовал хороший шанс упасть вместе с какими-нибудь ее остатками, и это ожидание оправдалось появлением в обоих случаях метеорного потока, гораздо более яркого, чем тот, который обычно наблюдается в один и тот же день.

Комета Биелы - не единственная комета, обнаружившая признаки распада; было обнаружено, что комету Брукса 1889 года, которая, вероятно, идентична комете Лекселла (глава XI, § 248), сопровождали три меньших спутника; поскольку эта комета не раз проходила чрезвычайно близко к Юпитеру, правдоподобное объяснение ее распада сразу же объясняется силой притяжения планеты. Более того, также были открыты определенные системы комет, члены которых вращаются по одной орбите, но разделены значительными промежутками времени. Комета Теббатта 1881 года движется практически по той же траектории, что и виденная в 1807 году, и великая комета 1880 года, великая комета 1882 года (показана на рис. 99) и третья, появившаяся в 1887 году, все движутся по траекториям, очень напоминающим траекторию кометы 1843 года, в то время как комета 1668 года более сомнительно связана с той же системой. И трудно не рассматривать элементы системы как фрагменты более ранней кометы, которая прошла через стадии, на которых мы действительно видели кометы Билы и Брукса.

Свидетельства такого разного рода указывают на тесную связь между кометами и метеорами, хотя, возможно, пока преждевременно с уверенностью утверждать, что метеоры являются фрагментами распавшихся комет или что, наоборот, кометы представляют собой метеорные стаи.

306. Каждая из великих проблем звездной астрономии, которые Гершель сформулировал и пытался решить, была тщательно изучена астрономами 19 века. Увеличение числа обсерваторий, усовершенствование телескопов и внедрение фотографии — и это лишь три

очевидных фактора прогресса — значительно расширили объем и точность наших знаний о звездах, в то время как изобретение спектрального анализа пролило совершенно новый свет на несколько важных проблем.

Самым прямым преемником Уильяма Гершеля был его сын *Джон Фредерик Уильям* (1792-1871), который был не только астрономом, но и внес важный вклад в чистую математику, физику, зарождающееся искусство фотографии и философию научных открытий. Он начал свою астрономическую карьеру примерно в 1816 году, повторно измерив, сначала самостоятельно, затем совместно с *Джеймсом Саутом* (1785-1867), ряд двойных звезд своего отца. Первым результатом этой работы стал каталог с подробными измерениями около сотен двойных и кратных звезд (опубликованный в 1824 году), который сформировал ценный третий элемент сравнения с наблюдениями его отца 1781-82 и 1802-03 годов и подтвердил в нескольких случаях медленные движения вращения, начало которых наблюдалось ранее. Последовал большой обзор туманностей, в результате которого был составлен каталог (1833), насчитывающий около 2500, из которых около 500 были новыми, а 2000 принадлежали его отцу, некоторые принадлежали другим наблюдателям; между прочим, наблюдалось более 3000 пар звезд, расположенных достаточно близко друг к другу, чтобы их стоило регистрировать как двойные.

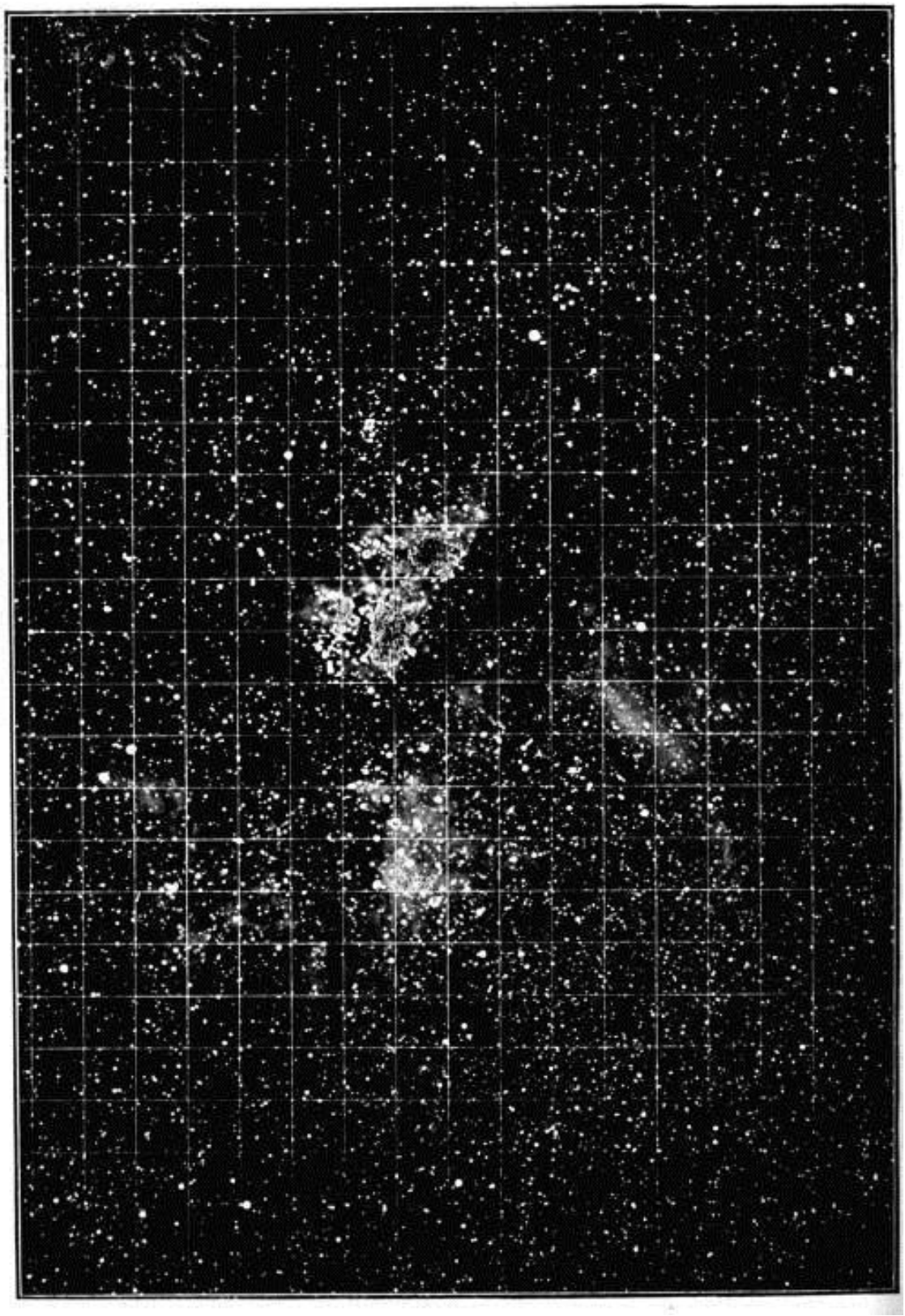


Рис. 100.Туманность около η Аргуса.

[*Лицом к лицу, стр. 397.*

307. Затем последовала его хорошо известная экспедиция на мыс Доброй Надежды (1833-1838), где он “прочесал” южное небо почти таким же образом, каким его отец исследовал области, видимые на нашей широте. Было открыто и изучено около 1200 двойных и кратных звезд и гораздо большее количество новых туманностей, в то время как около 500 известных туманностей были повторно обнаружены; измерение звезд по линиям Уильяма Гершеля также проводилось в широком масштабе. Ряд особых наблюдений, представляющих интерес, был сделан почти случайно во время этого обзора: поочередно изучались замечательная переменная звезда*Аргус* и окружающая ее туманность (современная фотография которой воспроизведена на рис. 100), замечательные скопления туманностей и звезд, известные как *Нубекулы* или *Магеллановы облака*, и комета Галлея; и два самых слабых спутника Сатурна, известных в то время (глава XII,§ 255), были снова замечены впервые после смерти их первооткрывателя .

Важное исследование несколько иного характера — исследование количества тепла, получаемого от солнца, — также было проведено (1837) во время пребывания Гершеля на мысе Кейп; и результат удовлетворительно совпал с результатом независимого исследования, проведенного в то же время во Франции*Клодом Серве Матиасом Пуйе* (1791-1868). В обоих случаях измерялось тепло, получаемое в данной области земли за данное время от прямых солнечных лучей; и с учетом тепла, задерживаемого в атмосфере при прохождении через нее солнечных лучей, была составлена оценка общего количества тепла, ежегодно получаемого землей от солнца, и, следовательно, общего количества, излучаемого солнцем во всех направлениях, незначительная часть которого (одна часть на 2 000 000 000) поглощается только землей. Но учет теплоты, поглощаемой нашей атмосферой, неизбежно был неопределенным, и более поздние работы, в частности работы доктора *С. П. Лэнгли* в 1880-81 годах, показывают, что они были сильно недооценены как Гершелем, так и Пуйе. Согласно результатам Гершеля, тепла, ежегодно получаемого от солнца, включая то, что улавливается в атмосфере, было бы достаточно, чтобы растопить ледяной покров толщиной 120 футов, покрывающий всю землю; по словам доктора Лэнгли, толщина составила бы около 160 футов.169

308. С его возвращением в Англию в 1838 году карьера Гершеля как наблюдателя подошла к концу; но обработка результатов его наблюдений на мысе Кейп, систематизация и каталогизация его собственных открытий и открытий его отца были занятием на долгие годы. Великолепный том о*результатах астрономических наблюдений, сделанных в 1834-8 годах на мысе Доброй Надежды,* появился в 1847 году; а каталог всех известных туманностей и скоплений, насчитывающий 5079 единиц, был представлен Королевскому обществу в 1864 году, в то время как соответствующий каталог из более чем 10 000 двойных и кратных звезд так и не был закончен, хотя материалы, собранные для него, были опубликованы посмертно в 1879 году. Большой каталог туманностей Джона Гершеля с тех пор был пересмотрен и дополнен доктором *Дрейером*, в результате чего получился список из 7 840 туманностей и скоплений, известных до конца 1887 года; а дополнительный список открытий, сделанных в 1888-94 годах, опубликованный тем же автором, содержит 1529 записей, так что общее число известных в настоящее время составляет от 9 000 до 10 000, из которых более половины были открыты двумя Гершелями.

309. Двойные звезды были открыты и изучены рядом астрономов, помимо Гершелей. Одним из самых неутомимых исследователей этого предмета был Струве-старший (§ 279), который последовательно был директором двух русских обсерваторий в Дерпте и Пулкове. Он наблюдал

в общей сложности около 2640 двойных и кратных звезд, тщательно измеряя в каждом случае длину и направление линии, соединяющей два компонента, и отмечая другие особенности,такие как контрасты в цвете между членами пары. Он обращал внимание только на двойные звезды, две составляющие которых находились на расстоянии не более 32 дюймов друг от друга, таким образом отвергая многие из них, которые заметил бы Уильям Гершель; поскольку число известных двойных звезд быстро увеличивалось, было очевидно, что необходимо сосредоточить внимание на тех, которые с некоторой разумной степенью вероятности могли оказаться настоящими двойными (глава XII., § 264).

В дополнение к ряду второстепенных работ Струве опубликовал три отдельные книги по этому предмету в 1827, 1837 и 1852 годах.170 Сравнение его собственных более ранних и более поздних наблюдений, и обоих с более ранними наблюдениями Гершеля, показало около 100 случаев изменения относительного положения двух членов пары, что более или менее ясно указывало на вращательное движение, и дальнейшие результаты аналогичного характера были получены из сравнения наблюдений Струве с наблюдениями более поздних наблюдателей.

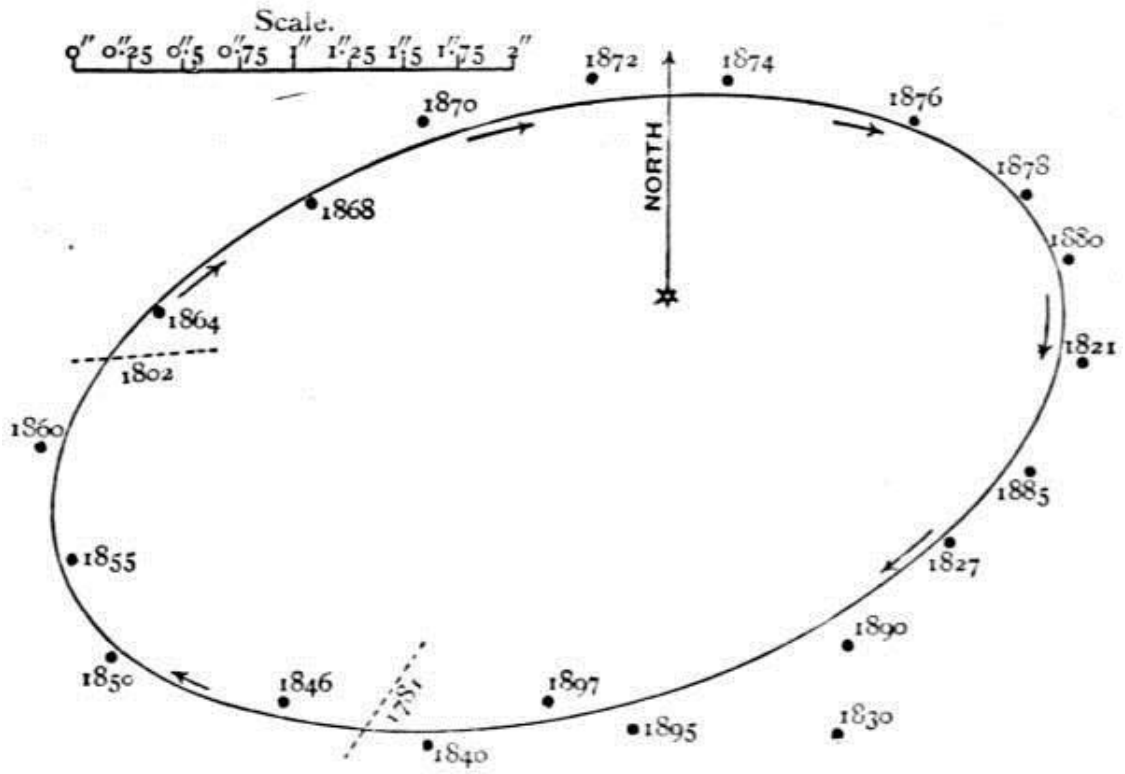


Рис. 101. Орбита ξ *Медведицы*, показывающая взаимное расположение двух компонентов в разное время между 1781 и 1897 годами (наблюдений 1781 и 1802 годов было достаточно только для определения направления линии, соединяющей два компонента, а не ее длины.)

Наблюдений Уильяма Гершеля за двойными системами (глава XII.,§ 264) было достаточно, чтобы показать, что, по-видимому, имело место какое-то вращательное движение; это была очевидная гипотеза, что два члена пары притягивают друг друга в соответствии с законом всемирного тяготения, так что вращательное движение в некоторой степени аналогично движению планеты вокруг солнца; если бы это было так, то каждая звезда пары должна была описывать эллипс (или, предположительно, какую-то другую коническую форму) вокруг другой, или каждая вокруг

общего центра. сила тяжести, в соответствии с законами Кеплера, и видимая траектория, видимая на небе, должны иметь такую природу, но в целом они должны быть укорочены за счет проецирования на небесную сферу. Первая попытка показать, что это было на самом деле, была предпринята ξ *Ursae*, которая, как было установлено, вращалась около 60 лет.

Многие тысячи двойных звезд были открыты Гершелями, Струве и рядом других наблюдателей, включая нескольких ныне живущих астрономов, среди которых ведущее место занимает профессор*С. В. Бернхэм* из Чикаго, который открыл около 1300 звезд. Среди этих звезд есть около 300, которые у нас есть все основания считать двойными, но не более 40 или 50 орбит можно считать вообще удовлетворительно известными. Одним из наиболее удовлетворительных является изображение звезды Савари ξ *Медведицы*, которая показана на рис. 101. Помимо двойных систем, обнаруженных спектроскопическим методом (§ 314), которые в некоторой степени образуют отдельный класс, периоды обращения, которые были вычислены, варьируются от примерно десяти лет до нескольких столетий, причем более длительные периоды по большей части решительно неопределенны.

310. Телескопы Уильяма Гершеля в течение некоторого времени представляли собой максимум, что можно было сделать в конструкции отражателей; первый шаг вперед был сделан лордом *Россом* (1800-1867), который — после ряда менее успешных экспериментов — наконец сконструировал (1845) в Парсонстауне в Ирландии телескоп-рефлектор длиной почти 60 футов с зеркалом шести футов в поперечнике и, следовательно, имел “светозарность” более чем вдвое большую, чем у самого большого телескопа Гершеля. Лорд Росс использовал новый инструмент в первую очередь для повторного изучения ряда известных туманностей и в течение следующих нескольких лет обнаружил множество новых особенностей, в частности спиралевидную форму некоторых туманностей (рис. 102) и разрешение видимых звездных скоплений ряда туманностей, которые Гершель не смог определить и, соответственно, отнес к классу “сияющая жидкость” (глава XII, § 260). Это последнее открытие, в точности аналогичное опыту Гершеля, когда он впервые начал изучать туманности, которые до сих пор наблюдались только в низшие телескопы, естественно, привело к возрождению представления о том, что туманности неотличимы от скоплений звезд, хотя многие из вероятностных аргументов, выдвинутых Гершелем и другими, на самом деле не были затронуты новыми открытиями.

Рис. 102.Спиральные туманности. По рисункам Лорда Росса.

[*Лицом к лицу, стр. 400.*

311. Можно сказать, что вопрос о статусе туманностей в его простейшей форме был решен первым применением спектрального анализа. Фраунгофер (§ 299) еще в 1823 году заметил, что спектры звезд, подобно спектру Солнца, характеризуются темными линиями, и более полные исследования, проведенные вскоре после открытий Кирхгофа несколькими астрономами, в частности сэром Уильямом Хаггинсом и выдающимся астрономом-иезуитом*Анджело Секки* (1818-1878), подтвердили этот результат в отношении почти всех наблюдаемых звезд.

Первый спектр туманности был получен сэром Уильямом Хаггинсом в 1864 году и состоял из трех*ярких* линий; к 1868 году он исследовал 70 и обнаружил примерно в трети случаев, включая туманность Ориона, аналогичный спектр ярких линий. Следовательно, в этих случаях светящаяся часть туманности является газообразной, и предположение Гершеля о “светящейся жидкости” подтвердилось наиболее удовлетворительным образом. Почти во всех случаях видны три яркие линии, одна из которых является линией водорода, в то время как две другие не были идентифицированы, а в случае нескольких более ярких туманностей также были видны некоторые другие линии. С другой стороны, значительное количество туманностей, включая многие из тех, которые, по-видимому, способны различать звездные скопления с помощью телескопа, дают непрерывный спектр, так что нет четких спектроскопических данных, позволяющих отличить их от звездных скоплений, поскольку вряд ли можно ожидать, что темные линии, обычно наблюдаемые в спектрах последних, будут видны в случае таких слабых объектов, как туманности.

312. Звезды были классифицированы, сначала Секки (1863), затем несколько иными способами другими, в соответствии с общим расположением темных линий в их спектрах; и были предприняты некоторые попытки основать на этих различиях выводы относительно относительного “возраста” или, по крайней мере, стадий развития различных звезд.

Многие темные линии в спектрах звезд были идентифицированы, впервые сэром Уильямом Хаггинсом в 1864 году, с линиями известных земных элементов, таких как водород, железо, натрий, кальций; таким образом, установлена определенная идентичность между материалами, из которых состоит наша земля, и материалами тел, столь удаленных, как неподвижные звезды.

В дополнение к уже упомянутым классам звезд, спектроскоп показал существование чрезвычайно интересного, хотя и довольно запутанного класса звезд, распадающегося на несколько подразделений, которые, по-видимому, образуют связующее звено между обычными звездами и туманностями, поскольку, хотя они и неотличимы в телескоп от обычных звезд, в их спектрах периодически или регулярно появляются*яркие* линии. Довольно много звезд этого класса являются переменными, и несколько “новых” звезд, которые появлялись и угасали в последние годы, продемонстрировали схожие характеристики.

313. Первое применение спектроскопического метода (§ 302) определения движения к наблюдателю или от него к неподвижным звездам было сделано сэром Уильямом Хаггинсом в 1868 году. Было обнаружено незначительное смещение от своего обычного положения темной линии водорода (F) в спектре Сириуса, которое было интерпретировано как свидетельство того, что звезда удалялась от солнечной системы со значительной скоростью. В следующем году

аналогично наблюдался ряд других звезд, и с тех пор эта работа была продолжена рядом других наблюдателей, в частности в Потсдаме под руководством профессора*Х. К. Фогеля*, и в Гринвиче.

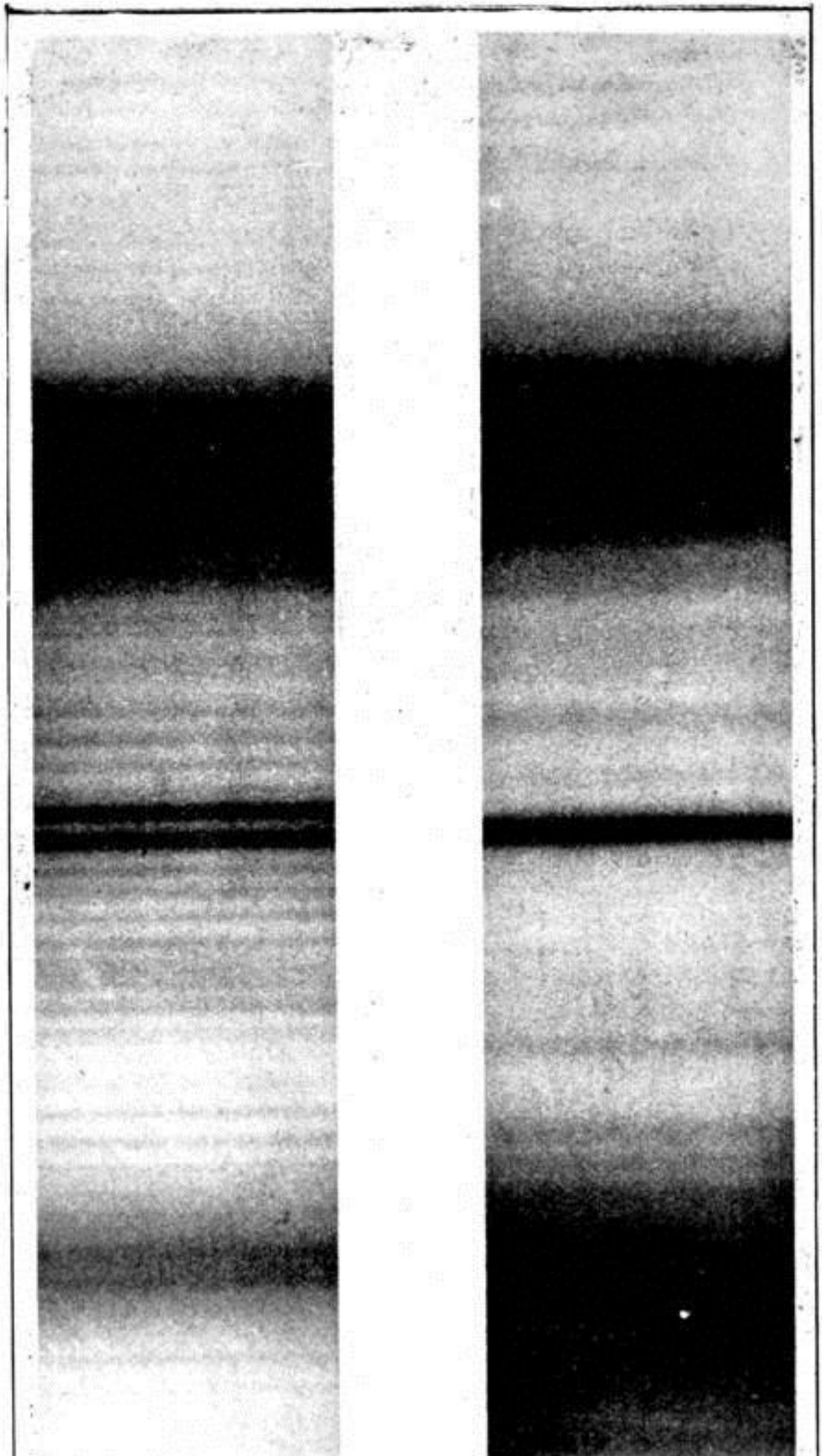


Рис. 103.—Спектр β *Возничей*, показывающий одинарную и двойную линию K. С фотографии, сделанной в Гарварде.

[*Лицом к лицу, стр. 403.*

314. Недавно было сделано весьма примечательное применение этого метода к двойным звездам. Если две звезды вращаются друг вокруг друга, их движения к земле и от нее регулярно меняются и различны; следовательно, если в спектроскоп поступает свет от обеих звезд, формируются два спектра — по одному для каждой звезды, — линии которых регулярно смещаются относительно друг друга. Если наблюдается определенная линия, скажем, линия F, общая для спектров обеих звезд, когда обе звезды движутся к Земле (или от нее) с одинаковой скоростью — что происходит дважды за каждый оборот — видна только одна линия; но когда они движутся по-разному, если спектроскоп достаточно мощный, чтобы обнаружить мельчайшую величину, линия будет казаться удвоенной, причем один компонент обусловлен одной звездой, а другой - другой. Периодическое удвоение такого рода было обнаружено в конце 1889 года профессором *Э. К. Пикерингом* из Гарварда в случае ζ *Медведицы*, которая, таким образом, впервые была признана бинарной и имела удивительно короткий период - всего 104 дня. За этим открытием почти сразу последовало обнаружение профессором Фогелем периодического сдвига положения темных линий в спектре переменной звезды Алгол (глава XII, § 266); но поскольку в этом случае нельзя увидеть удвоения линий, напрашивается вывод, что звезда-компаньон почти или совсем темная, так что, когда они вращаются друг вокруг друга, спектр яркой звезды смещается наблюдаемым образом. Таким образом, теория затмения изменчивости Алгола получила поразительное подтверждение.

С тех пор был обнаружен ряд других случаев обоих классов спектроскопических двойных звезд (как их удобно называть). В верхней части рис. 103 показано удвоение одной из линий в спектре двойной звезды β*Aurigae*; а в нижней части показана соответствующая часть спектра в то время, когда линия казалась одиночной.

315. Переменным звездам различных видов уделялось много внимания в течение этого столетия, особенно в последние несколько лет. В настоящее время около 400 звезд четко распознаны как переменные, в то время как в большом количестве других случаев предполагалась изменчивость света; за исключением, однако, нескольких случаев, таких как случай с Алголом, причины изменчивости все еще крайне неясны.

316. Изучение относительной яркости звезд — раздел астрономии, ныне широко известный как звездная **фотометрия**, — также широко проводилось в течение столетия и теперь поставлено на научную основу. Традиционная классификация звезд по величине в зависимости от их яркости была почти полностью произвольной и решительно неопределенной. Как только точные количественные сравнения звезд разной яркости начали проводиться в значительных масштабах, стала ощущаться необходимость в более точной системе классификации. Джон Гершель был одним из пионеров в этом направлении; он предложил шкалу, способную к точному выражению и примерно согласующуюся, по крайней мере, в том, что касается звезд, видимых невооруженным глазом, с текущими обычаями; находясь на Кейпе, он тщательно измерил свет большого количества ярких звезд и классифицировал их по этому принципу. Согласно общепринятой в настоящее время шкале, впервые предложенной в 1856 году *Норманом Робертом Погсоном* (1829-1891), свет звезды любой величины имеет фиксированное отношение (которое принимается равным 2 · 512 ...) к свету звезды следующей

величины. Число выбрано таким образом, что звезда шестой величины — определенная таким образом — в 100 раз слабее звезды первой величины.171 Звезды промежуточной яркости имеют величины, выраженные дробями, которые можно сразу вычислить (согласно простому математическому правилу), когда наблюдается отношение света, получаемого от звезды, к свету, получаемому от стандартной звезды.172

Большинство больших звездных каталогов (§ 280) включали оценки звездных величин. Наиболее обширными и точными сериями измерений яркости звезд были серии, проведенные в Гарварде и Оксфорде под руководством профессора Э. К. Пикеринга и покойного профессора Притчарда соответственно. Оба каталога имеют дело со звездами, видимыми невооруженным глазом; Гарвардский каталог (опубликован в 1884 году) включает 4260 звезд между Северным полюсом и 30 ° южного склонения, а так называемый*Uranometria Nova Oxoniensis* (1885) проходит всего на 10° южнее экватора и включает 2784 звезды. Также были опубликованы фрагменты более обширных каталогов, посвященных более слабым звездам, над которыми работают в Гарварде и Потсдаме.

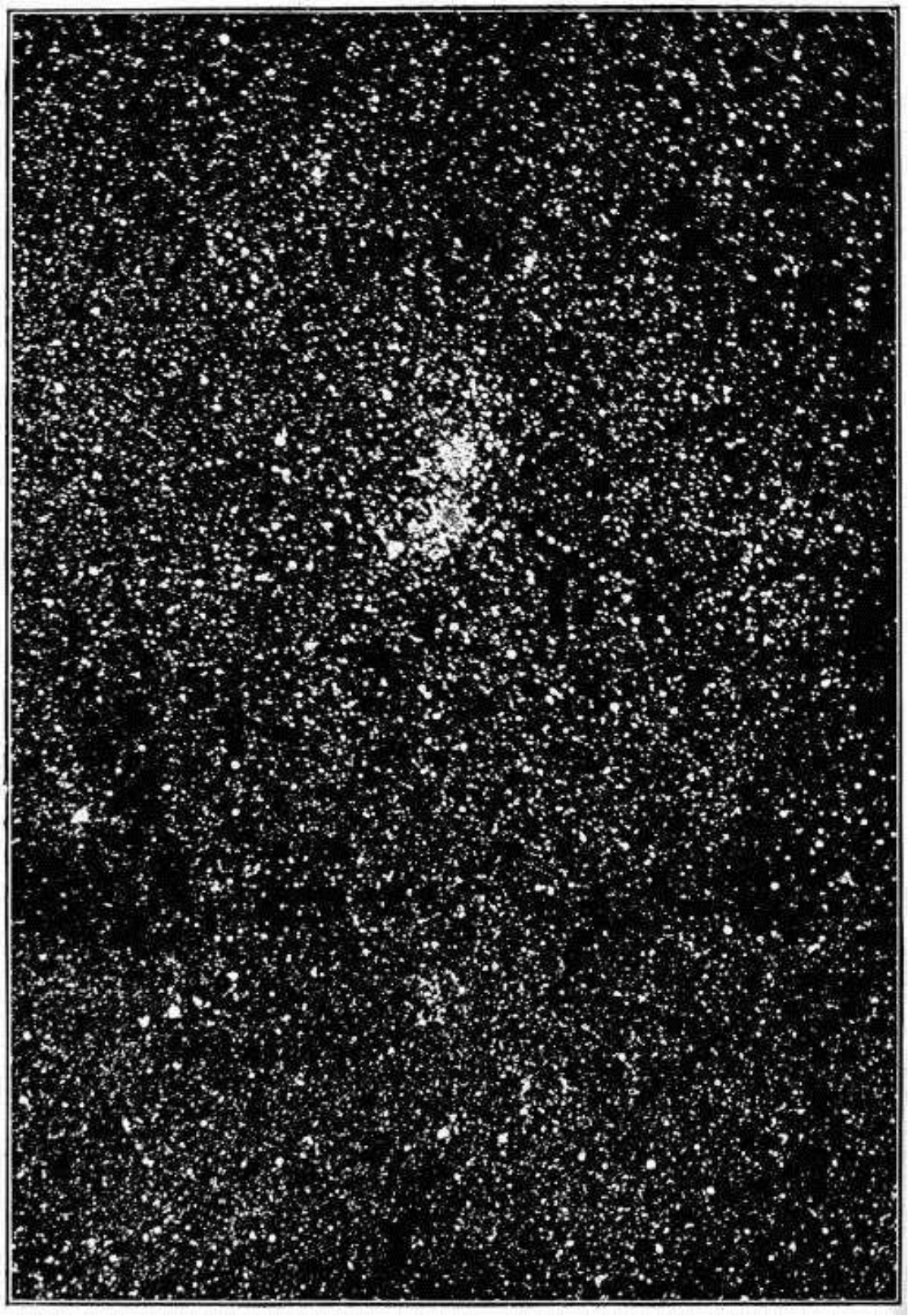


Рис. 104.— Млечный Путь вблизи скопления Персея. С фотографии профессора Барнарда.

[*Лицом к лицу, стр. 405.*

317. На великую проблему, которой Гершель уделял так много внимания, а именно общему расположению звезд и структуре системы, если таковая имеется, образованной ими и туманностями, различными способами повлияли дополнения, внесенные в наши знания о звездах. Но мы так далеки от сколько-нибудь удовлетворительного решения проблемы, что ни одна современная теория не может справедливо претендовать на то, что она отражает известные нам факты так же хорошо, как более ранняя теория Гершеля соответствовала гораздо более скудному запасу, которым он располагал. В этом, как и во многих других случаях, рост знаний показал недостаточность ранее принятой теории, но не обеспечил преемника. Детальное изучение формы Млечного Пути (см. рис. 104) и его связи с общим звездным массивом показало неадекватность любого простого расположения звезд для представления его внешнего вида; раздвоенный точильный камень Уильяма Гершеля, кольцо, которым его сын был склонен заменить его в результате своих исследований на Кейпе, и более сложные формы, предложенные более поздними авторами, в равной степени не учитывают его особенностей. Опять же, имеющиеся у нас данные о расстоянии до звезд при сравнении с их яркостью показывают, что существуют большие различия в их реальных размерах, а также в их видимых размерах, и, таким образом, противоречат предположению об определенной однородности, которое лежало в основе большей части работ Гершеля. Теория туманностей “островной вселенной”, частично оставленная Гершелем после 1791 года (глава XII,§ 260), но вновь получившая признание благодаря открытиям лорда Росса (§ 310), едва пережила спектроскопическое доказательство газообразного характера некоторых туманностей. Другие свидетельства ясно указывают на тесную связь между туманностями и звездами в целом; Наблюдение Гершеля о том, что туманности наиболее плотны в регионах, наиболее удаленных от Млечного Пути, было полностью подтверждено — что касается неразличимых туманностей, — в то время как очевидные звездные скопления демонстрируют столь же явное предпочтение окрестностей Млечного Пути. И снова во многих случаях было ясно показано, что отдельные звезды или группы, замеченные на небе в туманности или вблизи нее, либо по их расположению, либо, в некоторых случаях, по особенностям их спектров, действительно связаны с туманностью, а не просто случайно расположены в одном направлении. Звезды, в спектрах которых есть яркие линии (§ 312), образуют еще одно звено, соединяющее туманности со звездами.

Таким образом, множество сходящихся линий свидетельств указывают на большее разнообразие в расположении, размере и структуре тел, с которыми нас знакомит телескоп, чем это казалось вероятным, когда звездная астрономия впервые серьезно изучалась; они также указывают на вероятность того, что эти тела следует рассматривать как принадлежащие к единой системе, даже если она почти невообразимой сложности, а не к ряду совершенно различных систем более простого типа.

318. Небулярная гипотеза Лапласа (глава XI, § 250) была опубликована немногим более века назад (1796), и на нее сильно повлиял прогресс в различных областях астрономических знаний. Последующие открытия планет и спутников (§ § 294, 295) в некоторой степени нарушили равномерность и симметрию движений солнечной системы, на которые Лаплас придавал такое большое значение; но нет ничего невозможного в том, чтобы дать разумные объяснения обратным движениям спутников двух самых удаленных планет и большому эксцентриситету и наклону траекторий некоторых малых планет, в то время как, за исключением этих исключений, число тел, движения которых обладают характеристиками, на которые указал Лаплас, значительно увеличилось. Возможно, таким образом, аргументы в пользу какого-то общего

происхождения тел солнечной системы выиграли столько же, сколько и потеряли. Опять же,телескопические свидетельства, которые привел Гершель (глава XII,§ 261) в пользу существования определенных процессов конденсации в туманностях, были подкреплены более поздними свидетельствами аналогичного характера и различными уже упомянутыми свидетельствами, которые связывают туманности с отдельными звездами и со скоплениями. Различия в спектрах звезд также получают свое наиболее удовлетворительное объяснение как представляющие различные стадии уплотнения тел одного и того же общего характера.

319. Совершенно новый вклад в проблему был сделан в результате определенных открытий относительно природы тепла, кульминацией которых стало признание (около 1840-50 гг.) тепла лишь как одной из форм того, что физики сейчас называют **энергией**, которая проявляется также в движении тел, в разделении тел, которые притягивают друг друга, а также различными электрическими, химическими и другими способами. С этим открытием была тесно связана общая теория, известная как **сохранение энергии**, согласно которой энергия, хотя и способна ко многим преобразованиям, не может быть ни увеличена, ни уменьшена в количестве. Тело, которое, подобно солнцу, выделяет тепло и свет, соответственно, тем самым теряет энергию и подобно машине, выполняющей работу; либо тогда оно получает энергию из какого-то другого источника, чтобы компенсировать эту потерю, либо его запас энергии уменьшается. Но тело, которое продолжает бесконечно выделять тепло и свет без пополнения своего запаса энергии, в точности аналогично машине, которая продолжает работать бесконечно без какой-либо движущей силы, приводящей ее в движение; и то и другое одинаково невозможно.

Результаты, полученные Джоном Гершелем и Пуйе в 1836 году (§ 307), привлекли внимание к огромному расходованию солнцем тепла в виде энергии, и астрономам, таким образом, пришлось столкнуться с проблемой объяснения того, как солнце могло продолжать излучать тепло и свет таким образом. Ни за несколько тысяч лет прошлого, описанных в исторических записях, ни за чрезвычайно длительные периоды, которые принимают во внимание геологи и биологи, нет никаких свидетельств какого-либо важного постоянного изменения количества тепла и света, ежегодно получаемых землей от солнца. Следовательно, любая теория солнечного тепла должна быть способна объяснить непрерывный расход тепла примерно с нынешней скоростью в течение огромного периода времени. Очевидное объяснение солнца как печи, получающей тепло от горения, оказывается совершенно неадекватным при проверке цифрами, поскольку таким образом солнце могло бы продолжать гореть самое большее в течение нескольких тысяч лет. Общепринятое сейчас объяснение было впервые дано великим немецким физиком*Германом фон Гельмгольцем* (1821-1894) в популярной лекции в 1854 году. Солнце обладает огромным запасом энергии в форме взаимного притяжения его частей; если по какой-либо причине оно сжимается, определенное количество гравитационной энергии неизбежно теряется и принимает какую-то другую форму. Таким образом, при уменьшении солнечной активности у нас есть возможный источник энергии. Точное количество энергии, высвобождаемой при определенной величине сжатия солнца, зависит от внутреннего распределения плотности на солнце, которое является неопределенным, но, сделав любое разумное предположение относительно этого, мы обнаружим, что величина сжатия, необходимая для восполнения расхода тепла солнцем, уменьшала бы диаметр всего на несколько сотен футов в год и, следовательно, была бы незаметна при наших нынешних телескопических возможностях в течение столетий, в то время как более ранние записи о размерах солнца не являются достаточно точными, чтобы показать это. На основе тех же принципов легко рассчитать количество энергии, высвобождаемой телом, подобным солнцу,

при переходе из состояния бесконечного рассеяния в его нынешнее состояние и из его нынешнего состояния в состояние с заданной большей плотностью; результатом является то, что мы можем таким образом учитывать расход солнечного тепла с текущей скоростью в течение периода, который будет исчисляться миллионами лет либо в прошлом, либо в будущем, в то время как, если уровень расхода был меньше в отдаленном прошлом или станет меньше в будущем, время увеличивается на соответствующую величину.

Никакая другая причина, которая была предложена, не может объяснить более чем небольшую долю фактического расхода тепла солнцем; теория тяготения удовлетворяет всем требованиям собственно астрономии и, во всяком случае, каким-то образом приближается к удовлетворению требований биологии и геологии.

Если затем мы примем это как предварительно установленное, то придем к выводу, что солнце в прошлом было крупнее и менее уплотнено, чем сейчас, и, углубившись достаточно далеко в прошлое, мы обнаружим, что оно находилось в состоянии, мало чем отличающемся от первоначальной туманности, которую предполагал Лаплас, за исключением того, что оно не обязательно должно было быть горячим.

320. Исследование профессора Г. Х. Дарвина о влиянии приливного трения пролило новый свет на возможное развитие земли и Луны (см. § 287 и §§ 292, 293). Поскольку приливы увеличивают продолжительность дня и месяца и постепенно отталкивают Луну от земли, из этого следует, что в прошлом луна была ближе к земле, чем сейчас, и, следовательно, приливное воздействие было намного сильнее. Следуя этой подсказке. С помощью серии сложных расчетов, опубликованных в 1879-81 годах, профессор Дарвин обнаружил убедительные доказательства того, что в прошлом Луна находилась близко к земле, вращаясь вокруг нее за то же время, за которое земля вращалась вокруг своей оси, что составляло тогда немногим более двух часов. Фактически, два тела двигались так, как если бы они были связаны; трудно избежать вероятного вывода о том, что на более ранней стадии они действительно были одним целым и что Луна на самом деле является фрагментом земли, оторвавшимся от нее из-за слишком быстрого вращения земли или иным образом.

Профессор Дарвин также исследовал возможность аналогичного объяснения образования спутников других планет и самих планет из солнца, но обстоятельства системы Луна-земля оказались исключительными, и влияние приливов было менее эффективным в других случаях, хотя оно и дает удовлетворительное объяснение некоторых особенностей планет и их спутников. Совсем недавно (1892) доктор*Зее* применил несколько похожую линию рассуждений, чтобы объяснить с помощью приливного воздействия образование двойных звезд из более раннего туманного состояния.

Говоря в целом, мы можем сказать, что результатом изучения проблемы ранней истории Солнечной системы в 19 веке стало дискредитирование деталей гипотезы Лапласа различными способами, но установление на более прочной основе общего мнения о том, что Солнечная система образовалась в результате некоторого процесса конденсации из более ранней очень рассеянной массы, имеющей общее сходство с одной из туманностей, которые показывает нам телескоп, и что звезды, отличные от Солнца, не исключено, образовались в чем-то похожим образом; и, далее, теория приливного трения была опровергнута. дополняет эту общую, но расплывчатую теорию, давая рациональное объяснение процесса, который, по-видимому, был

преобладающим фактором в развитии системы, образованной нашими собственными землей и Луной, и, во всяком случае, оказал важное влияние в ряде других случаев.

АВТОРИТЕТЫ И КНИГИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ.

I. Общие сведения.

Я повсюду широко пользовался "*Описанием астрономии" Р. Вольфа* и шестью томами "*Истории астрономии"* Деламбра (*Ancienne*, 2 тома.; *du Moyen Age*, 1 том.; *Moderne*, 2 тома.; *du Dixuitième Siècle*, 1 том.). Впоследствии я буду называть эти книги просто *Вольф* и *Деламбр* соответственно. Я реже пользовался астрономическими разделами *Истории индуктивных наук* Уэвелла*(именуемого*Уэвеллом*), и я в долгу — главным образом за даты и ссылки — перед историями математики, написанными соответственно Мари, У. В. Р. Боллом и Каджори, перед*Handwörterbuch der Exacten Wissenschaften Поггендорфа и статьями в различных биографических словарях, энциклопедиях и научных журналах. Из общих трактатов по астрономии наиболее полезными для моих целей были "*Популярная астрономия*" Ньюкомба, "*Общая астрономия*" Янга и "*Старая и новая астрономия"* Проктора.

Трудно сделать выбор среди очень большого количества книг по астрономии, которые адаптированы для широкого читателя. Студентам, желающим получить вводный курс астрономии, можно порекомендовать "*Букварь астрономии Королевского астронома"*; "*Элементы астрономии"* Янга немного более продвинуты, а "*История небес"* сэра Р. С. Болла, "*Популярная астрономия"* Ньюкомба и "*Старая и новая астрономия"* Проктора раскрывают предмет гораздо подробнее. *Общая астрономия* Юнга также может быть рекомендована тем, кто не боится немного математики. Существуют также три современные английские книги, посвященные в целом истории астрономии, во всех из которых биографический элемент гораздо более заметен, чем в этой книге: а именно. *Великие астрономы* сэра Р. С. Болла, *Пионеры науки* Лоджа и *Герои науки Мортона: астрономы*.

II. Особые периоды.

Главы I. и II.— В дополнение к процитированным выше общим историям, особенно о *Вулфе*, я в основном использовал "*Исследования по истории древней астрономии" Таннери* и несколько биографических статей (главным образом Де Моргана) из *Словаря классической биографии и мифологии Смита*. В некоторой степени также использовались "*Хронологические основы"* Иделера, "*Руководство по математике в альтер-уме и Миттелальтере"* Ханкеля, "Астрономия древних" Г. К. Льюиса*и* "Астрономические исследования в Вавилоне" Эппинга и Штрассмайера". К сожалению, мое внимание привлекла книга Зуземиля "*Описание греческой литературы в "Александрийском времени"*, когда большая часть моей книги была в корректуре, и, следовательно, я смог воспользоваться ею лишь в малой степени.

Я, как правило, не делал попыток обратиться к авторитетным греческим источникам, но я в некоторой степени пользовался переводами Аристарха, *Альмагестаи* астрономических трудов Платона и Аристотеля.

Глава III.—Изложение восточной астрономии основано главным образом на трудах Деламбра и на *книге Ханкеля "Математический анализ изменений и перемен"*; в меньшей степени на Уэвелле. Что касается Запада, то я больше использовал Уэвелла и позаимствовал биографический материал об английских писателях из *Словаря национальной биографии*. Я также ознакомился со многими оригинальными астрономическими книгами, упомянутыми во второй части главы.

Я не знаю ни одной доступной книги на английском языке, к которой можно было бы отсылать студентов, кроме *Уэвелла*.

Глава IV.— В качестве биографического материала, информации о второстепенных произведениях и истории публикации "*De Revolutionibus"* я мало что использовал, кроме тщательно разработанного "*Николая Копперника"* Прове и документов, напечатанных в нем. Мой отчет о *Революции* взят из самой книги. Портрет взят с гравюры Дандело с картины, находящейся во владении Лаланда. Мне не удалось обнаружить ни одного портрета, который был бы явно сделан при жизни Копперника, но близкое сходство между несколькими портретами, датируемыми 17 веком, и портретом Дандело, кажется, показывает, что последний в значительной степени подлинный.

В "*Фондах современной астрономии" Бертрана есть читаемый отчет о Копернике, а также о нескольких других астрономах*; но я не пользовался этой книгой как авторитетом.

Глава V.— В "Жизни Тихо" я полагался главным образом на "*Тихо Браге"* Дрейера, который также использовался в качестве руководства к его научной работе; но я постоянно ссылался на оригинальные труды: Я также немного использовал *Жизнеописание Тихониса Браге* Гассенди. Портрет представляет собой репродукцию картины, находящейся во владении доктора Кромптона из Манчестера, описанной им в *Воспоминаниях Манчестерского литературно-философского общества*, том VI., сер. III. Для второстепенных континентальных писателей я использовал в основном *Вулфа* и *Деламбра*, а для английских писателей -*Уэвелла*, различные статьи Де Моргана, цитируемые им, и статьи в *Национальном биографическом словаре*.

Студенты найдут в книге Дрейера все, что они, вероятно, захотят узнать о Тихо.

Глава VI.— Для описания жизни Галилея я использовал главным образом книгу Карла фон Геблера "*Галилей и римская Кюри"*, частично в оригинальном немецком варианте, частично в более позднем английском издании (перевод миссис Стердж). В спорных вопросах, связанных с судебным процессом, я полагался, насколько это было возможно, на оригиналы документов, хранящихся в Ватикане, которые были опубликованы фон Геблером и независимо Л'Эпинуа в*"Материалах процесса Галилеи"*: в последней книге некоторые из наиболее важных документов воспроизведены в факсимильном виде. Для личных характеристик я использовал очаровательную*личную жизнь Галилея, составленную главным образом из его переписки и переписки его дочери Марии Селест*. Я также с большим интересом прочитал оценку работы Галилея, содержащуюся в "*Галилее*" Х. Мартина, и, вероятно, в какой-то степени позаимствовал ее. То, что я сказал о научной работе Галилея, было почти полностью основано на изучении его собственных книг, либо в оригинале, либо в переводе: я свободно использовал

переводы*Диалога о двух главных системах мира* и *Письма к великой герцогине Кристине* Салусбери, "*Двух новых наук"* Уэстона (а также "Салусбери") и "*Звездного вестника"* Карлоса. Я также частично использовал различные спорные трактаты, написанные врагами Галилея, которые можно найти (вместе с его комментариями к ним) в великолепном национальном издании его работ, которое сейчас готовится к публикации; и критический отчет о вкладе Галилея в динамику, содержащийся в *Книге Маха "Механика"*.

Вольф и *Деламбр* использовались в этой главе лишь в очень малой степени, в основном для второстепенных авторов, на которых ссылаются.

Портрет является репродукцией портрета кисти Сустерманса из галереи Уффици.

В "*Жизнеописаниях выдающихся личностей"*, опубликованном Обществом распространения полезных знаний, есть превосходный популярный отчет о жизни и творчестве Галилея; студентам, желающим получить более полные сведения о жизни Галилея, следует прочитать книгу Геблера "И "*Частная жизнь"*, которые уже цитировались, и настоятельно рекомендуется прочитать по крайней мере части "*Диалога о двух главных системах мира"*либо в оригинале, либо в живописном старинном переводе Салусбери: существует также современная немецкая версия этой книги, а также книги Джеблера "Частная жизнь".*две новые науки* из серии книг Оствальда "*Классик по искусству"*.

Глава VII.— Для описания жизни Кеплера я использовал главным образом *Вольфа* и жизнеописание — или, скорее, биографический материал, — приведенный Фришем в последнем томе его издания трудов Кеплера, а также в небольшой степени "*Иоганна Кепплера" Брейтшвердта*. Для научных открытий Кеплера я использовал в основном его собственные труды, но я в некоторой степени обязан *Вольфу* и *Деламбру*, особенно за информацию, касающуюся его второстепенных работ. Портрет является репродукцией портрета кисти Нордлинга, приведенного в издании Фриша.

В*"Жизнеописаниях выдающихся людей"*, на которую уже ссылались, также содержится превосходный популярный рассказ о жизни и деятельности Кеплера.

Глава VIII.— Я использовал главным образом *Вулфа* и *Деламбра*; для английских писателей Гаскойна и Хоррокса я использовал *Уэвелла* и статьи из *Dict. Nat. Биог*. То, что я сказал о работе Гюйгенса, взято непосредственно из его книг, которые цитируются в тексте; и по особым вопросам я обратился к *Principia* Декарта и очень немногим из обширных работ Кассини.

Нет очевидной книги, которую можно было бы порекомендовать студентам.

Глава IX.— При описании внешних событий жизни Ньютона я полагался главным образом на*Воспоминания Брюстера о сэре Исааке Ньютоне*; а для истории развития его идей по вопросу тяготения я широко использовал *Эссе У. У. Р. Болла "О принципах Ньютона"*и оригинальные документы, содержащиеся в нем. Я также частично воспользовался статьями о Ньютоне в*Британской энциклопедии* и *Национальном биографическом словаре*, а также *Перепиской ученых XVII века* Риго, *перепиской сэра Исаака Ньютона и профессора Эдлстона*. *Котсаирассказа Бейли о преподобном*[Д.] *Джон Флемстид*. Портрет является репродукцией портрета Неллера.

Студентам рекомендуется прочитать книгу Брюстера, процитированную выше, или сокращенную "*Жизнь сэра Исаака Ньютона"* того же автора. Законы движения обсуждаются в большинстве современных учебников динамики; лучшее из известных мне описаний различных трудностей, связанных с ними, содержится в статье У. Х. Маколея в *Бюллетене Американского математического общества*, серия II., том. III., № 10, июль 1897г.

Глава X.— Для Флемстида я использовал главным образом *рассказ Бейли о преподобном*[д.] *Джон Флемстид*; для Брэдли мало что, кроме *различных работ и переписки преподобного Джеймса Брэдли* (под редакцией Риго), с которого был взят портрет. Мой отчет о работе Галлея в значительной степени основан на его собственных работах; много биографической информации о нем содержится в книгах, которые уже цитировались в связи с Ньютоном и Флемстидом, и есть полезная статья о нем в *Национальном биографическом словаре*. В этой главе я много использовал *Вольфа* и *Деламбра*, особенно при общении с континентальными астрономами; а для специальных разделов предмета я использовал *Историю физической астрономии* Гранта, *Историю математических теорий притяжения и фигуры Земли* Тодхантера*и*Плотность Земли Пойнтинга.....

Глава XI.—Большая часть биографического материала была взята у *Вольфа* из статей в различных энциклопедиях и биографических словарях, в основном французских, и из "*Логии* Лагранжа" Деламбра. Два портрета взяты соответственно из издания Серре "*Произведения Лагранжа"* и из издания Академии "*Произведения Лапласа"*. Готье *эссе историческое сюр-ле problème де Труа корпуса* и Гранта *истории физической астрономии* , были книги, которые наиболее часто используемые для моей учетной записи выступлений различных астрономы работали; я также консультировался различных современных трактатов по гравитационной астрономии, особенно Tisserand по *механики "Целесте"*, коричневый по *теории Луны*и, в меньшей степени Чейн по *планетарной теории* и Аири *гравитации*. Для особых точек я использовал Тодхантера по *истории*, который уже упоминался выше. Из оригинальных работ я в значительной степени использовал "*Механику Селесты"* Лапласа, а также его *Систему мира*; я также ознакомился с некоторым количеством других его работ и работ Лагранжа и Клеро, но систематического изучения их не проводил.

Студентам, желающим узнать больше о гравитационной астрономии, но слабо разбирающимся в математике, следует попробовать прочитать "*Гравитацию*" Эйри; "*Очерки астрономии" Гершеля* и "*Историю*" Гранта (процитированы выше) также касаются предмета без использования математики и достаточно понятны.

*Глава XII.*Отчет о карьере Гершеля взят главным образом из *Мемуаров Кэролайн Гершель миссис Джон Гершель*, из книги мисс А. М. Клерк "*Гершели и современная астрономия"*, из "*Популярной истории астрономии в девятнадцатом веке"* того же автора и из книги Холдена "*Сэр Уильям Гершель, его жизнь и труды"*. Последние три книги, а также *Краткий обзор и предметный указатель трудов сэра Уильяма Гершеля* издательства Holden & Hastings были моими главными путеводителями по длинной серии статей Гершеля; но почти все, что я сказал о его главных работах, основано на его собственных трудах. Я также немного воспользовался "*Историей*" Гранта (уже цитировавшейся), " *Вульфом*" и "Звездной системой" мисс Клерк....."

Студентам рекомендуется прочитать одну или все первые четыре книги, названные выше; *Мемуары* дают очаровательную картину личной жизни Гершеля и особенно его отношений с

сестрой. В книге Проктора "*Старая и новая астрономия" также есть хороший критический отчет о работе Гершеля по звездной астрономии*.

Глава XIII.— За исключением статей, посвященных гравитационной астрономии, я постоянно пользовался *историей* мисс Клерк (уже цитировавшейся), книгой, которую настоятельно рекомендуется прочитать студентам; а в изучении первой половины XX века мне во многом помогла *история*Гранта. Но по большей части материалы для этой главы были взяты из большого числа источников, состоящих в значительной степени из оригинальных работ упомянутых астрономов, перечислять которые было бы трудно и вряд ли стоило; что касается жизни астрономов (особенно английских), а также новейшей астрономическойистории в целом, мне очень помогли некрологи и отчеты о прогрессе астрономии, которые ежегодно появляются в *Ежемесячных уведомлениях* Королевского астрономического общества.

Я добавляю названия нескольких книг, в которых нетехнически рассматриваются особые разделы современной астрономии:-

Солнце, К. А. Янг; *Солнце*, Р. А. Проктор;*История солнца*, Р. С. Болл; *Место Солнца в природе*, Дж. Н. Локьер.

Луна, Э. Нейсон; *Луна*, Т. Г. Элджер.

Сатурн и его система, Р. А. Проктор.

Марс, Персиваль Лоуэлл.

Мир комет, А. Гиллемин (хорошо иллюстрированная, но некритичная книга, ныне довольно устаревшая);*Замечательные кометы*, У. Т. Линн (очень маленькая книга, полная полезной информации); *Ноябрьский метеоритный дождь*, У. Ф. Деннинг.

Приливы и отливы и родственные им явления в Солнечной системе, Г. Х. Дарвин.

Замечательные затмения, У. Т. Линн (того же характера, что и его книга о кометах.)

Звездная система, А. М. Клерк.

Спектральный анализ, Х. Шеллен; *Спектральный анализ*, Х. Э. Роско.

СНОСКИ:

1 В нашем климате 2000 человек - это самое большое число, когда-либо видимое одновременно даже зорким человеком.

2 Из-за большей яркости звезд над головой они обычно кажутся немного ближе, чем звезды у горизонта, и, следовательно, видимая часть небесной сферы кажется меньше половины полной сферы. Это, однако, не имеет значения и в будущем будет игнорироваться.

3 Прямой угол делится на девяносто градусов (90°), градус - на шестьдесят минут (60'), а минута - на шестьдесят секунд (60").

4 Ни здесь, ни где-либо еще я не делал попыток описать созвездия и их положение, поскольку считаю такие словесные описания почти бесполезными. Для новичка, который хочет

познакомиться с ними поближе, лучший план - получить более подробную информацию, указать другу на несколько наиболее заметных из них в разных частях неба. Другие могут быть легко добавлены с помощью звездного атласа или звездных карт, приведенных во многих учебниках.

5 Имена в обычных латинских формах таковы: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей и Рыбы; их легко запомнить по стихам—доггерам:-

Баран, Бык, Небесные Близнецы,

А рядом Краб, сияющий Лев,

Девственница и Весы,

Скорпион, Лучник и Козел,

Человек, который несет Лейку,

И Рыбы со сверкающими хвостами.

6 Это утверждение не учитывает небольшие движения, почти или совсем невидимые невооруженным глазом, некоторые из которых относятся к числу наиболее интересных открытий телескопической астрономии; см., Например, главу X., §§ 207-215.

7 Обычай называть солнце и луну планетами к настоящему времени вымер, и впредь в этой книге будут использоваться современные термины.

8 Следует отметить, что наше слово “день” (и соответствующее ему слово в других языках) обычно используется в двух значениях: либо для обозначения времени между восходом и заходом солнца (день в отличие от ночи), либо для всего периода в 24 часа, или дня и ночи. Греки, однако, использовали для обозначения последнего особое слово, νυχθήμερον.

9 Сравните французские: Mardi, Mercredi, Jeudi, Vendredi; или, еще лучше, итальянские: Martedi, Mercoledi, Giovedi, Venerdi.

10 Смотрите, например, "Альманах"*старины Мура* или *Задкиила*.

11 У нас мало определенных сведений о его жизни. Он родился в начале 6 века до нашей эры и умер в конце того же века или начале следующего.

12 Теофраст родился примерно на полвека, Плутарх - почти на пять столетий позже Платона.

13 *Республика*, VII. 529, 530.

14 Сбит с толку, потому что механические знания того времени были совершенно недостаточны для того, чтобы дать какое-либо объяснение того, как эти сферы воздействовали друг на друга.

15 Я представил здесь знакомое объяснение фаз Луны и основанный на нем аргумент в пользу сферической формы Луны, потому что, хотя она, вероятно, была известна до Аристотеля, насколько мне известно, ни у одного более раннего автора нет четкого и определенного изложения этого вопроса, и после него это стало общепринятой частью греческой

элементарной астрономии. Можно заметить, что на это объяснение не влияет ни вопрос о вращении земли, ни вопрос о ее движении вокруг Солнца.

16 Смотрите, например, отчет о спорах Галилея в главе VI.

17 **Полюсами** большого круга на сфере являются концы диаметра, перпендикулярного плоскости большого круга. Каждая точка на большом круге находится на одинаковом расстоянии, под углом 90 °, от каждого полюса.

18 *Слово* “зенит” - арабское, а не греческое: ср. глава III, § 64.

19 Большинство этих имен не греческие, а более позднего происхождения.

20 Работа М. Поля Таннери: *Исследования по истории древней астрономии*, глава V.

21 Тригонометрия.

22 Этот процесс, возможно, стоит проиллюстрировать с помощью более простой задачи. Обнаружено, что тяжелое тело, свободно падающее под действием силы тяжести (с учетом сопротивления воздуха), падает примерно на 16 футов за 1 секунду, 64 фута за 2 секунды, 144 фута за 3 секунды, 256 футов за 4 секунды, 400 футов за 5 секунд и так далее. Этот ряд цифр, приведенный настолько, насколько это может потребоваться, удовлетворял бы практическим требованиям, дополненный, при желании, соответствующими цифрами для долей секунды; но математик представляет те же факты более простым и более удовлетворяющим уму способом с помощью формулы $s = 16\,t^2$, где s обозначает количество пройденных футов, а t - количество секунд. Присваивая t любое присвоенное значение, сразу же получается соответствующий пробел, пропущенный через него. Аналогичным образом движение солнца можно приблизительно представить более сложной формулой $l = nt + 2\,e \sin nt$, где l - расстояние от фиксированной точки на орбите, t время и n, e определенные числовые величины.

23 В настоящее время все еще существует небольшое расхождение между наблюдаемым и рассчитанным местоположением луны. См. главу XIII., § 290.

24 Это название интересно как пережиток очень раннего суеверия. Предполагалось, что затмения, которые всегда происходят вблизи узлов, были вызваны драконом, пожиравшим солнце или луну. Предполагается, что символы ☊☋которые до сих пор используются для обозначения двух узлов, представляют голову и хвост дракона.

25 На рисунке, который взят из *De Revolutionibus* Копперника (глава IV, § 85), пусть D, K, M представляют соответственно центры солнца, земли и Луны во время лунного затмения, и пусть S Qg, S R E обозначают границы конуса тени, отбрасываемого землей; тогда Qr, проведенный под прямым углом к оси конуса, представляет собой ширину тени на расстоянии Луны. Тогда мы имеем сразу из похожих треугольников

G K - Q M : A D - G K :: M K : K D.

Следовательно, если K D = n. M K и ∴ также A D = n. (радиус Луны), при этом, согласно Аристарху, n равно 19,

G K-Q M: n. (радиус луны)-G K
:: 1 : n

n . (radius of moon) - G K
= *n* G K - *G K* -n
Q M
∴ радиус луны + радиус тени= *(1* + *1*/n) (радиус Земли).,,

Путем наблюдений было установлено, что угловой радиус тени составляет около 40', а луны - 15', так что

радиус тени = 8/3 радиуса Луны;
∴ радиус Луны
= 3/11 (1 + 1/*n*) (радиус Земли).

Но поскольку угловой радиус Луны равен 15', ее расстояние обязательно примерно в 220 раз больше ее радиуса,

и ∴ расстояние до Луны
= 60 (1 + 1/*n*) (радиус Земли),

что примерно соответствует результату Гиппарха, если *n* будет *любым* довольно большим числом.

26 *Histoire de l'Astronomie Ancienne*, Vol. I., p. 185.

27 главного ср. носит звание μεγάλη σύνταξις или большой состав, хотя автор ссылается в своей книге и в других местах μαθηματικὴ σύνταξις (математическое состав). Арабские переводчики, то ли из-за восхищения, то ли по неосторожности, преобразовали μεγάλη, великий, в μεγίστη, величайший, и поэтому оно стало известно арабам как *Аль-Магисти*, откуда происходит латинское *Альмагестум* и наш *Альмагест*.

28 Более известное кажущееся увеличение солнца или луны при восходе или заходе не имеет ничего общего с рефракцией. Это оптическая иллюзия, не очень удовлетворительно объясненная, но, вероятно, из-за меньшей яркости солнца в то время.

29 По сферической тригонометрии.

30 Таблица хорд (или двойных синусов полууглов) для каждых 1/2° от 0° до 180°.

31 Его методику можно сравнить с методикой политического экономиста школы Рикардо, который, чтобы установить некоторое приблизительное объяснение экономических явлений, начинает с определенных простых предположений относительно природы человека, которые, во всяком случае, более правдоподобны, чем любой другой столь же простой набор, и выводит из них ряд абстрактных выводов, применимость которых к реальной жизни должна рассматриваться в отдельных случаях. Но поверхностное обсуждение, которое такой писатель дает качествам "экономического человека", конечно, не может рассматриваться как его обдуманная и окончательная оценка человеческой природы.

32 Уравнение центра и отклонения может быть выражено тригонометрически двумя членами выражения для долготы луны, $a \sin\theta + b \sin(2\phi-\theta)$, где a, b - две числовые величины в круглых числах 6° и 1°, θ - угловое расстояние луны от перигея, а ϕ - угловое расстояние от солнца. При соединении и противопоставлении ϕ равно 0° или 180°, и два члена сводятся к $(a-b) \sin\theta$. Это

была бы форма, в которой уравнение центра представилось бы Гиппарху. Следовательно, исправление Птолемея эквивалентно добавлению

$b\,[\sin\theta + \sin(2\phi - \theta)]$, или $2\,b\,\sin\phi\,\cos(\phi-\theta)$,

который обращается в нуль при соединении или противостоянии, но уменьшается в квадратурах до $2\,b\,\sin\theta$, который снова обращается в нуль, если луна находится в апогее или перигее ($\theta = 0°$ или $180°$), но имеет наибольшее значение на полпути между ними, когда $\theta = 90°$. Конструкция Птолемея породила также еще меньший термин этого типа,

$c\,\sin 2\phi\,[\cos(2\phi + \theta) + 2\cos(2\phi - \theta)]$,

который, как будет замечено, обращается в нуль при квадратурах, а также при соединении и противопоставлении.

33 Здесь, как и везде, я не давал подробного описания астрономических инструментов, полагая, что такие описания в целом неинтересны и не понятны тем, у кого нет настоящих инструментов, и мало полезны тем, у кого они есть.

34 Преимущество, получаемое от использования уравнения, можно прояснить математическим сравнением с эллиптическим движением, введенным Кеплером. При эллиптическом движении угловое движение и расстояние представляются приблизительно формулами $nt + 2e\sin nt$, $a(1 - e\cos nt)$ соответственно; соответствующие формулы, полученные с использованием простого эксцентрика, являются $nt + e'\sin nt$, $a(1 - e'\cos nt)$. Следовательно, чтобы согласовать угловые движения, мы должны принять $e' = 2e$, но чтобы согласовать расстояния, мы должны принять $e' = e$; следовательно, эти два условия несовместимы. Но при введении уравнения формулы становятся $nt + 2e'\sin nt$, $a(1 - e'\cos nt)$, и *обе* формулы согласуются, если мы примем $e' = e$. Лунная теория Птолемея могла бы быть почти устранена из уже отмеченной серьезной трудности (§ 48), если бы он использовал уравнение для представления главного неравенства Луны; и его планетарная теория была бы уточнена до первого порядка малых величин за счет использования уравнения как для деферента, так и для эпицикла.

35 Де Морган ставит его в один ряд с Архимедом, Евклидом и Аполлонием, тремя великими геометрами древности.

36 Легенда о том, что книги в библиотеке шесть месяцев служили топливом для печей общественных бань, отвергнута Гиббоном и другими. Одна из веских причин для того, чтобы не принимать это, заключается в том, что к тому времени, вероятно, осталось очень мало книг, которые следовало сжечь.

37 Данные, касающиеся индийской астрономии, настолько неопределенны, а свидетельства каких-либо важных первоначальных вкладов столь незначительны, что я не счел нужным вдаваться в этот предмет сколь-либо подробно. Главные индийские трактаты, включая тот, который упоминается в тексте, имеют явные признаки того, что были основаны на греческих писаниях.

38 Он ввел в тригонометрию использование *синусов*, а также немного использовал *касательные*, по-видимому, не осознавая их важности: он также использовал некоторые новые формулы для решения сферических треугольников.

39 Продолжительный, но нерешительный спор велся, главным образом, французскими учеными, относительно отношений Птолемея, Абуль-Вафы и Тихо в этом вопросе.

40 Например, практика рассмотрения тригонометрических функций как *алгебраических* величин, которыми можно манипулировать с помощью формул, а не просто как геометрических линий.

41 Любой, кто этого не осознал, может сделать это, выполнив с помощью римских цифр простую операцию умножения на само себя числа, такого как MDCCCXCVIII.

42 По тригонометрии. Он вновь ввел *синус*, который был забыт; и немного использовал *касательную*, но, подобно Альбатегнию (§ 59*п.*), не осознал его важности и, таким образом, остался позади Ибн Юноса и Абуль Вафы. Важным вкладом в математику стала таблица синусов, рассчитанных для каждой минуты от 0 ° до 90°.

43 Что касается “лунных расстояний”.

44 Он изобрел не измерительный прибор под названием *верньер*, который ему часто приписывают, а нечто совершенно иное и очень низкой ценности.

45 Это имя пишется большим количеством различных способов как самим Копперником, так и его современниками. Сам он обычно писал свое имя Копперник, а в научных произведениях обычно использовал латинскую форму Coppernicus. Написание "Коперник" используется им настолько реже, что я счел за лучшее отказаться от него, даже рискуя показаться педантичным.

46 *Nullo demum loco ineptior est quam … детская галлюцинация уби нима*: Нигде он не бывает более глуп, чем … где он страдает от заблуждений слишком детского характера.

47 Его настоящее имя было Георг Иоахим, то, под которым он известен, было составлено им самим из латинского названия района, где он родился (Ретия).

48 "*Commentariolus* и "*Prima Narratio"* дают большинству читателей лучшее представление о том, что сделал Копперник, чем его большая книга, в которой сравнительно трудно выделить его ведущие идеи из массы основанных на них расчетов.

49 *Omnis enim quæ videtur secundum locum mutatio, aut est propter locum mutatio, aut est propter spectatæ rei motum, aut videntis, aut certe disparem utriusque mutationem. Nam inter mota æqualiter ad eadem non percipitur motus, inter rem visam dico, et videntem* (De Rev., I. v.).

Я попытался устранить некоторую грубость оригинального отрывка, переведя его свободно.

50 Для Копперника, как и для многих его современников, а также для греков, простейшей формой вращения одного тела вокруг другого было движение, при котором вращающееся тело двигалось так, как если бы оно было жестко прикреплено к центральному телу. Таким образом, в случае земли второе движение было таким, что ось земли оставалась наклоненной под постоянным углом к линии, соединяющей землю и солнце, и, следовательно, меняла свое направление в пространстве. Затем, чтобы заставить ось сохранять (почти) фиксированное направление в пространстве, необходимо было добавить *третье* движение.

51 В этом предварительном обсуждении, как и на рис. 40, Копперник дает 80 дней; но в более подробной трактовке, приведенной в книге V. он исправляет это значение до 88 дней.

52 Рисунок 42 был слегка изменен, чтобы привести его в соответствие с рисунком 41.

53 Копперник, вместо того чтобы давать долготы, измеренные от первой точки Овна (или точки весеннего равноденствия, глава I., §§ 11, 13), которая движется из-за прецессии, измерил долготы от стандартной неподвижной звезды (α *Ариетис*) недалеко от этой точки.

54 Согласно теории Копперника, наибольший диаметр Луны был примерно на 1/8 больше ее среднего значения; современные наблюдения показывают, что эта доля составляет примерно 1/13. Или, иными словами, наибольший диаметр Луны должен превышать его наименьшее значение примерно на 8 футов согласно Копперникy и примерно на 5 футов согласно современным наблюдениям.

55 Евклид, I. 33.

56 Если P - синодический период планеты (в годах), а S - звездный период, то мы, очевидно, имеем (1/ P) + 1 = 1/ S для низшей планеты и 1 - (1/ P) = 1/ S для высшей планеты.

57 Недавние биографы обратили внимание на отмененный отрывок из рукописи "*De Revolutionibus"*, в котором Копперник показывает, что эллипс может быть получен комбинацией круговых движений. Это утверждение, однако, является всего лишь частью чистой математики и не имеет никакого отношения к движению планет вокруг Солнца. Следовательно, это ни в коей мере нельзя справедливо рассматривать как предвосхищение идей Кеплера (глава VII).

58 Следует заметить, что дифференциальный метод параллакса (глава VI, § 129), с помощью которого можно было бы заметить такую величину, как 12', был отвергнут общим предположением, разделяемым Копперником, что все звезды находятся от нас на одинаковом расстоянии.

59 Нет никаких сомнений в том, что он изобрел то, что по существу было логарифмами, независимо от Нейпира, но, со свойственной ему неспособностью или нежеланием объявлять о своих открытиях, позволил изобретению умереть вместе с ним.

60 На самом деле подобное открытие было сделано дважды: Галилеем (глава VI, § 114) и Гюйгенсом (глава VIII, § 157).

61 Он получил отпуск, чтобы навестить Тихо Браге, и так и не вернулся в Кассель. Он, должно быть, умер между 1599 и 1608 годами.

62 Он даже не забыл оборудовать одну из самых необходимых частей средневекового замка - тюрьму!

63 Было бы интересно узнать, какое назначение он придавал (предположительно) еще более обширному пространству *за* пределами звезд.

64 Тихо делает в этой связи восхитительное замечание, что Моисей, должно быть, был искусным астрономом, потому что он называет Луну “меньшим светом”, несмотря на тот факт, что видимые диаметры солнца и Луны почти равны!

65 Поперечными.

66 На изобретенном им приборе под названием *гидростатические весы*.

67 Хорошее представление о средневековых взглядах на этот предмет можно получить из одной из самых утомительных песен великой поэмы Данте (*Paradiso*, II.), в которой поэт и Беатриче излагают два разных “объяснения” пятен на Луне.

68 *Людовико делле Коломбе* в трактате *Contra Il Moto della Terra*, который перепечатан в национальном издании трудов Галилея, том. III.

69 В письме от 4 мая 1612 г. он говорит, что видел их в течение восемнадцати месяцев; в *Диалоге о двух системах* (III, стр. 312, в переводе Салусбери) он говорит, что видел их, когда еще читал лекции в Падуе, *то есть* предположительно к сентябрю 1610 г., когда в том месяце он переехал во Флоренцию.

70 *Historia e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari*.

71 Деяния i. 11. Каламбур не так уж плох в своей латинской форме: *Viri Galilaci*и т.д.

72 *Spiritui sancto mentem fuisse nos docere, quo modo ad Coelum eatur, non autem quomodo Coelum gradiatur*.

73 Из перевода Салусбери в томе I. его *математических сборников*.

74 Единственный важный момент в связи с отношениями Галилея с инквизицией, по которому, кажется, есть место для каких-либо серьезных сомнений, - это строгость этого предупреждения. Вполне вероятно, что Галилею в то же время было специально запрещено “придерживаться, преподавать или защищать каким-либо образом, устно или письменно” эту отвратительную доктрину.

75 Это иллюстрируется хорошо известной оптической иллюзией, при которой белый круг на черном фоне кажется больше, чем такой же черный круг на белом фоне. Видимый размер горячей нити накала в современной электрической лампе накаливания - еще одна хорошая иллюстрация.

76 На самом деле, поскольку вершина башни описывает немного больший круг, чем ее подножие, камень сначала движется на восток немного быстрее, чем подножие башни, и, следовательно, должен достичь земли немного к *востоку* от нее. Это смещение, однако, очень незначительно и может быть обнаружено только с помощью более тонких экспериментов, чем те, которые были разработаны Галилеем.

77 Из перевода Салусбери в томе I. его *математических сборников*.

78 The official minute is: *Et ei dicto quod dicat veritatem, alias devenietur ad torturam*.

79 Три дня с 21 по 24 июня - единственные, которые Галилей *мог* провести в настоящей тюрьме, и, похоже, нет оснований предполагать, что они были проведены где-то еще, кроме комфортабельных комнат, в которых, как известно, он прожил большую часть апреля.

80 Эквивалентно разделам предмета, которые сейчас называются *динамикой* или (более правильно) *кинематикой* и *кинетикой*.

81 Он подсчитал, что тело за секунду пролетает расстояние в 4 “браккии”, что эквивалентно примерно 8 футам, тогда как истинное расстояние составляет чуть более 16.

82 *Две новые науки*, перевод Уэстона, стр. 255.

83 Астроном, по-видимому, почти безразлично использовал оба варианта написания своего имени. Например, титульный лист его самой важной книги "*Комментарии к движениям Марса"* (§ 141) имеет форму "Кеплер", а посвящение той же книги подписано "Кепплер".

84 Поскольку правильные тела были взяты в порядке: куб, тетраэдр, додекаэдр, икосаэдр, октоэдр и имели такую величину, что каждому из них можно было описать сферу и в то же время вписать в предыдущее тело серии, то радиусы шести полученных таким образом сфер были показаны Кеплером как приблизительно пропорциональные расстояниям от солнца шести планет Сатурна, Юпитера, Марса, Земли, Венеры и Меркурия.

85 Две звезды, расположенные на расстоянии 4 футов друг от друга, едва различимы невооруженным глазом человека со средней остротой зрения.

86 *Комментарии к движениям Марса*, Часть II., конец главы XIX.

87 эллипс - это одна из нескольких кривых, известных как **конические сечения**, которые могут быть сформированы путем взятия сечения конуса, а также могут быть определены как кривая, сумма расстояний любой точки, на которой от двух неподвижных точек внутри нее, известных как**фокусы**, всегда одинакова.

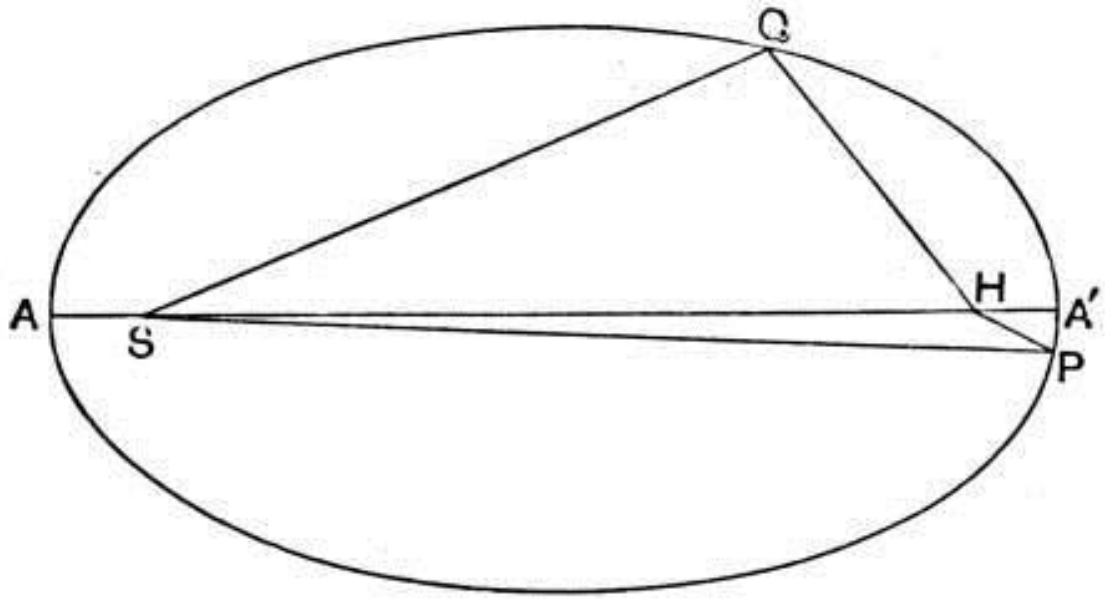


Рис. 59.—эллипс.

Таким образом, если на рисунке S и H - фокусы, а P, Q -*любые* две точки на кривой, то расстояния Sp, Hpp, сложенные вместе, равны расстояниям Sq, Qh, сложенным вместе, и каждая сумма равна длине Aa' эллипса. Отношение расстояния Sh к длине Aa' известно как **эксцентриситет**и является удобной мерой того, насколько эллипс отличается от окружности.

88 эллипс *более* вытянут, чем фактическая траектория Марса, точный рисунок которой был бы неотличим для глаза от круга. Эксцентриситет на рисунке равен 1/3, а у Марса - 1/10.

89 *Astronomia Nova* αἰ τιολογητος *seu Physica Coelestis, tradita Commentariis de Motibus Stellae Martis. Ex Observationibus G. V. Tychonis Brahe.*

90 В нем содержатся зачатки метода бесконечно малых величин.

91 *Harmonices Mundi Libri V.*

92 Определенный интерес может представлять собственное изложение закона Кеплером: “Res est certissima exactissimaque, quod proportionis quae est inter binorum quorumque planetarum tempora periodica, sit praecise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est orbium ipsorum”. —*Гармония мира*, Книга V, глава III.

93 *Эпитома*, Книга IV, Часть 2.

94 Введение к *Комментариям о движении Марса*.

95 По сути, это *филярный микрометр* современной астрономии.

96 Галилей в конце своей жизни, по-видимому, думал изобрести маятник с часовым механизмом, но нет удовлетворительных доказательств того, что он когда-либо реализовал эту идею.

97 В современных обозначениях: время колебания = $2\pi\sqrt{(l/g)}$.

98 *Т.е.* он получил знакомую формулу $(v^2)/r$ и несколько эквивалентных форм для *центробежной силы*.

99 Также часто упоминается под латинским именем *Картезиус*.

100 Согласно нереформированному календарю (OS), использовавшемуся в то время в Англии, датой было Рождество 1642 года. Чтобы облегчить сравнение с событиями, происходящими за пределами Англии, я использовал на протяжении всей этой и следующих глав григорианский календарь (N.S.), который в то время был принят на значительной части Континента (см. главу II, § 22).

101 Из рукописи, найденной среди Портсмутских газет, процитированной в Предисловии к Каталогу Портсмутских газет.

102 У. К. Клиффорд, *Цели и инструменты научной мысли*.

103 Интересно прочитать, что Рен предложил приз в размере 40*фунтов.* тому из двух других, кто решит эту центральную проблему солнечной системы.

104 Знакомый *параллелограмм сил*, о котором более ранние авторы имели смутные представления, был четко сформулирован и доказан во введении к "*Принципам*" и по любопытному совпадению был опубликован также в том же году *Вариньоном* и *Лами*.

105 Это от 13 до 14 миллиардов миллиардов фунтов стерлингов. См. главу X. § 219.

106 Насколько я знаю, Ньютон не дает краткого изложения закона в совершенно полной и общей форме; отдельные его части приведены в разных отрывках *Principia*.

107 Обычно утверждается, что ньютоновское значение движения лунных апсид составляло лишь около половины истинного значения. В схолии *Principia* для поддержки. в пункте 35 третьей книги, приведенном в первом издании, но впоследствии опущенном, он оценил годовое движение в 40 °, при наблюдаемом значении около 41 °. В одной из своих неопубликованных работ, хранящихся в Портсмутском собрании, он достиг 39 ° с помощью процесса, который, очевидно, считал не совсем удовлетворительным.

108 На протяжении всего спора о Копернике вплоть до времен Ньютона обычно предполагалось, как сторонниками Копперника, так и их оппонентами, что есть некоторый смысл говорить о теле просто как о находящемся в “покое” или “в движении”, без какой-либо ссылки на какое-либо другое тело. Но все, что мы действительно можем наблюдать, - это движение одного тела относительно одного или нескольких других. Астрономические наблюдения говорят нам, например, об определенном движении земли и солнца относительно друг друга; и это движение было выражено двумя совершенно различными способами Птолемеем и Копперником. С современной точки зрения, в конечном счете, вопрос заключался в том, что проще выразить - движение различных тел солнечной системы относительно земли или относительно Солнца. Если будет сочтено удобным выразить их — как это делали Копперник и Галилей — применительно к солнцу, то некоторая простота изложения достигается, если говорить о солнце как о “неподвижном” и опускать уточнение “относительно солнца”, говоря о любом другом теле. Те же движения могли быть выражены относительно любого другого тела, выбранного по желанию:*например,* для одной из стрелок часов, которые носит человек, расхаживающий взад и вперед по палубе корабля в бурном море; в этом случае ясно, что движения других тел солнечной системы относительно этого тела были бы чрезмерно сложными; и поэтому было бы крайне неудобно, хотя и все еще возможно, рассматривать это конкретное тело как “неподвижное”.

Однако новый аспект проблемы возникает, когда предпринимается попытка — подобная ньютоновской — объяснить движения тел солнечной системы как результат сил, действующих друг на друга этими телами. Если, например, мы посмотрим на Первый закон движения Ньютона (глава VI.,§ 130), мы увидим, что он не имеет смысла, если мы не знаем, что такое тело или тела, относительно которых выражается движение; тело, находящееся в состоянии покоя относительно земли, движется относительно солнца или неподвижных звезд, и применимость Первого закона к нему зависит, следовательно, от того, имеем ли мы дело с его движением относительно земли или нет. Для большинства движений земли достаточно рассматривать Законы Движения как относящиеся к движению относительно земли; или, другими словами, мы можем для этой цели рассматривать землю как “неподвижную”. Но если мы рассмотрим некоторые земные движения более точно, мы обнаружим, что Законы движения, интерпретируемые таким образом, не совсем верны; но что мы получим более точное объяснение наблюдаемых явлений, если будем рассматривать Законы Движения как относящиеся к движению относительно центра солнца и линий, проведенных от него к звездам; или, другими словами, мы будем рассматривать центр Солнца как “неподвижную” точку, а эти линии - как “фиксированные” направления. Но опять же, когда мы имеем дело с солнечной системой в целом, эта интерпретация немного неточна, и мы должны рассматривать центр тяжести солнечной системы, а не солнца, как “неподвижный”.

С этой точки зрения мы можем сказать, что целью Ньютона в "*Принципах*" было показать, что можно выбрать определенную точку (центр тяжести солнечной системы) и определенные

направления (линии, соединяющие эту точку с неподвижными звездами) в качестве базы отсчета, так что все движения рассматриваются как относящиеся к этой базе, законы движения и закон тяготения дают последовательное объяснение наблюдаемых движений тел солнечной системы.

109 Он оценил годовую прецессию, обусловленную солнцем, примерно в 9 дюймов, а прецессию, обусловленную луной, примерно в четыре с половиной раза больше, так что общая величина, обусловленная двумя телами, составила около 50 дюймов, что в пределах доли секунды согласуется с величиной, обнаруженной наблюдениями; но теперь мы знаем, что доля луны не более чем вдвое превышает долю Солнца.

110 Однажды он в отчаянии сказал Галлею, что лунная теория “вызывала у него головную боль и не давала уснуть так часто, что он больше не хотел думать о ней”.

111 31 декабря 1719 года, согласно нереформированному календарю (OS), который тогда использовался в Англии.

112 Кажущееся число равно 2935, но 12 из них являются дубликатами.

113 Бесселя (глава XIII, § 277).

114 Связь между работами Флемстида и Ньютона была выражена скорее корректно, чем со вкусом самими двумя астрономами в ходе какой-то ссоры по поводу лунной теории: “Сэр Айзек работал с рудой, которую я добыл”. “Если он добывал руду, я делал золотое кольцо”.

115 Риго в мемуарах, предваряющих *Разные работы*Брэдли.

116 Телескопическая звезда под названием 37 Камелопарди в каталоге Флемстида.

117 Рассказ приведен в Т. *История Королевского общества*Томсона, опубликованная более 80 лет спустя (1812), но я не смог найти для нее более ранних источников. Собственный отчет Брэдли о своем открытии содержит ряд деталей, но не содержит никаких намеков на этот инцидент.

118 Это *k sin* C A B, где *k* - постоянная аберрации.

119 Его наблюдения на самом деле указывают на значение, несколько большее 18", но он предпочитал использовать круглые числа. В настоящее время приняты цифры 18 "· 42 и 13 "· 75, так что его эллипс был явно менее плоским, чем должен был быть.

120 *Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l’axe de la terre*.

121 Раньше использовалось слово “геометр”, как и “геомет” во французском языке, в более широком смысле, в котором сейчас принято говорить “математик”.

122 *Принципы*, Книга III, предложение 10.

123 Для целей данного обсуждения важно отметить, что вертикаль - это *не* линия, проведенная от центра земли к месту наблюдения.

124 69 миль - это 364,320 футов, так что два градуса северной широты были немного больше, а перуанский - чуть меньше 69 миль.

125 Оставшиеся 8000 звезд не были “уменьшены” Лакайлем. Весь номер был впервые опубликован в “сокращенном” виде Британской ассоциацией в 1845 году.

126 Сектор фрески.

127 Обычная приближенная теория *ошибки коллимации*, *ошибки уровня* и *ошибки отклонения* прохождения, приведенная в учебниках сферической и практической астрономии, по существу принадлежит ему.

128 Титульный лист датирован 1767 годом; но известно, что на самом деле он был опубликован только три года спустя.

129 Для более подробного обсуждения прохождения Венеры см. " *Популярную астрономию"* Эйри и "*Популярную астрономию" Ньюкомба*.

130 Известны *некоторые* другие влияния — *например*, солнечное тепло вызывает различные движения нашего воздуха и воды и оказывает определенное незначительное влияние на скорость вращения Земли и, предположительно, оказывает аналогичное воздействие на другие тела.

131 Арифметические процессы вычисления, цифра за цифрой, не заканчивающейся десятичной дроби или квадратного корня являются простыми случаями последовательного приближения.

132 “C’est que je viens d’un pays où, quand on parle, on est pendu.”

133 Долголетие было замечательной характеристикой великих математических астрономов: Ньютон умер на 85-м году жизни; Эйлер, Лагранж и Лаплас прожили более 75 лет, а Д'Аламберу на момент его смерти было почти 66.

134 Этот орган, который является в первую очередь литературным, следует отличать от гораздо менее известной Парижской академии наук, постоянно упоминаемой (часто просто как Академия) в этой и предыдущей главах.

135 E.g. *Mélanges de Philosophie, de l’Histoire, et de Littérature*; *Éléments de Philosophie*; *Sur la Destruction des Jésuites*.

136 *T.e.* он предположил закон притяжения, представленный $\mu/r^2 + \nu/r^3$.

137 Это приложение запоминается тем, что в нем впервые приводится метод *изменения параметров*, который впоследствии разработал и с таким успехом использовал Лагранж.

138 Труд выдающегося американского астронома доктора Г. В. Хилла (глава XIII, § 286).

139 Они дают примерно · 78 массы Венеры по сравнению с массой Земли.

140 Орбита может представлять собой параболу или гиперболу, хотя ни у одной известной планеты этого не происходит.

141 О *вариационномисчислении*.

142 Установление общих уравнений движения с помощью комбинации *виртуальных скоростей* и *принципа Д'Аламбера*.

143 *Théorie des Fonctions Analytiques* (1797); *Resolution des Équations Numériques* (1798); *Leçons sur le Calcul des Fonctions* (1805).

144 *Théorie Analytique des Probabilités*.

145 Тот факт, что затем Наполеон передал этот пост своему брату Люсьену, наводит на некоторые сомнения относительно непредвзятого характера вердикта о некомпетентности, вынесенного Наполеоном Лапласу.

146 *Основы астрономии*, § 656.

147 Laplace, *Système du Monde*.

148 Если n, n' - средние движения двух планет, выражение для возмущающей силы содержит члены типа

$$= \begin{matrix} sin \\ cos \end{matrix} (np \pm n'p')\, t,$$

где p, p' являются целыми числами, а коэффициент имеет порядок $p - p'$ в эксцентриситетах и наклонах. Если теперь p и p' таковы, что $np - n'p'$ мало, соответствующее неравенство имеет период $2\pi/(np - n'p')$, и хотя его коэффициент имеет порядок $p - p'$, it has the small factor$np - np'$,,np',,, (или его квадрат) в знаменателе и, следовательно, может быть значительным. В случае Юпитера и Сатурна, например, n = 109 257 угловых секунд в год, n' = 43 996; $5n' - 2n$ = 1466; следовательно, имеет место неравенство *третьего* порядка с периодом (в годах) = 360°/1,466" = 900.

149 Это утверждение требует некоторой оговорки, когда принимаются во внимание возмущения. Но этот момент не очень важен и носит слишком технический характер, чтобы его обсуждать.

150 $\sum e^2 m\sqrt{a} = c$, $\sum tan^2 i m\sqrt{a} = c'$, где m - масса любой планеты, a, e, i - большая полуось, эксцентриситет и наклон орбиты. Уравнение верно для квадратов малых величин, и поэтому безразлично, заменен ли $tan\ i$, как в тексте, на i.

151 Почти весь “фонд эксцентриситета" и "фонд наклонения” солнечной системы распределен между Юпитером и Сатурном. Если бы Юпитер поглотил весь каждый фонд, эксцентриситет его орбиты увеличился бы только примерно на 25%, а наклон к эклиптике не увеличился бы вдвое.

152 Из таблиц, основанных на работах Лапласа и опубликованных до момента его смерти, главными солнечными были таблицы *фон Зака* (1804) и *Деламбра* (1806); а главными планетарными были таблицы *Лаланда* (1771), *Линденау* для Венеры, Марса и Меркурия (1810-13) и *Бувара* для Юпитера, Сатурна и Урана (1808 и 1821).

153, движение спутников Урана (глава XII, § 253 255) происходит в противоположном направлении. Когда Лаплас впервые опубликовал свою теорию, их ход был сомнительным, и он, по-видимому, не счел нужным замечать это исключение в более поздних изданиях своей книги.

154 Это утверждение снова должно быть изменено в связи с начавшимися 1 января 1801 года открытиями малых планет (глава XIII, § 294), многие из которых имеют орбиты гораздо более эксцентричные, чем орбиты других планет, и наклонены к эклиптике под значительными углами.

155 *Système du Monde*, Book V., chapter VI.

156 В своей статье 1817 года Гершель называет число 863, но ссылка на оригинал статьи 1785 года показывает, что это, должно быть, ошибка принтера.

157 Движение Кастора стало медленнее со времен Гершеля, и нынешняя оценка периода составляет около 1000 лет, но это ни в коем случае не точно.

158 Точнее, считая движения по прямому восхождению и склонению отдельно, он имел дело с 27 наблюдаемыми движениями (одна из звезд не имела движения по склонению); 22 совпадали по знаку с теми, которые могли бы возникнуть в результате предполагаемого движения солнца.

159 Метод был опубликован Лежандром в 1806 году и Гауссом в 1809 году, но последний изобрел и использовал его более чем на 20 лет раньше.

160 Эта цифра, должно быть, сильно преувеличена, поскольку угол SσE, показанный на ней, составляет около 10 ° и, следовательно, примерно в 100 000 раз больше, чем нужно.

161 Сэр Р. С. Болл и покойный профессор Притчард (§ 279) получили соответственно · 47" и ·43"; среднее из них, ·45", может быть предварительно принято как не очень далекое от истины.

162 Средняя звезда 14-й звездной величины в 10 000 раз слабее звезды 4-й звездной величины, которая, опять же, примерно в 150 раз менее яркая, чем Сириус. См. § 316.

163 Скорость света Ньюкомба и постоянная аберрации Нирена (20"· 4921) дают 8"·794; постоянная аберрации Струве (20"· 445), Лоуи (20"· 447) и Холла (20"· 454) дают по 8"· 81.

164 *Fundamenta Nova Investigationis Orbitae Verae quam Luna perlustrat*.

165 *Darlegung der theoretischen Berechnung der in den Mondtafeln angewandten Störungen*.

166 *Например*. в "*Истории физической астрономии" Гранта*, "*Очерках астрономии"* Гершеля, "Истории астрономии в девятнадцатом веке" мисс Клерк*и мемуарах доктора Глейшера, предваряющих первый том* "Собрания сочинений" Адамса."

167 Это было предложено в качестве возможности несколькими более ранними авторами.

168 Пока эта книга выходила из печати, было объявлено об открытии земного вещества с этой линией в спектре.

169 Наблюдения, сделанные на Монблане под руководством М. Янссена в 1897 году, указывают на несколько большее число, чем у доктора Лэнгли.

170 *Catalogus novus stellarum duplicium*, *Stellarum duplicium et multiplicium mensurae micrometricae*, and *Stellarum fixarum imprimis duplicium et multiplicium positiones mediae pro epocha 1830*.

171 *Т.е.* 2·512... выбрано как число, логарифм которого равен ·4, так что $(2{\cdot}512...)^{5/2} = 10$.

172 Если L - отношение света, получаемого от звезды, к свету, получаемому от стандартной звезды первой величины, такой как Альдебаран или Альтаир, то ее величина *m* определяется формулой

$L = (1/2{\cdot}512)^{m - 1} = (1/100)^{(m - 1)/5}$, откуда $m - 1 = -5/2 \log L$.

Звезда ярче Альдебарана имеет звездную величину меньше 1, в то время как звездная величина Сириуса, который примерно в девять раз ярче Альдебарана, является *отрицательной* величиной, -1 · 4, согласно данным гарвардской фотометрии.